



Análisis de los riesgos de calor extremo marino y de blanqueamiento masivo de corales durante el 2026

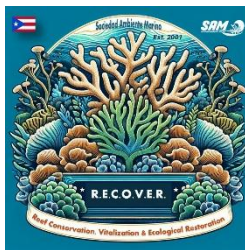
Boletín Técnico Año 4 Núm. 2 – Junio 2026

Edwin A. Hernández Delgado, Ph.D.

Sociedad Ambiente Marino

edwinhernandez@sampr.org

1 de julio de 2026





Esta es una publicación conjunta de los Programas de Investigación en Ciencia del Clima (C.S.R.P.) y el de Conservación, Vitalización y Restauración Ecológica de los Arrecifes (R.E.C.O.V.E.R.) de la Sociedad Ambiente Marino. El Dr. Edwin A. Hernández Delgado es un Ecólogo de Restauración Certificado (#0670) por la Society for Ecological Restoration edwinhernandez@sampr.org



Resumen

- Puerto Rico y el Caribe continúan enfrentando desde el año 2023 un contexto regional de alta vulnerabilidad ante eventos recurrentes de calor extremo marino, olas de calor marino y blanqueamiento masivo de corales.
- La evidencia oceanográfica y climatológica actualizada al 1 de julio de 2026 indica que el sistema ENSO transicionó rápidamente desde condiciones neutrales hacia el desarrollo de El Niño durante el verano de 2026, con alta probabilidad de persistir e intensificarse hasta finales de 2026 e inicios de 2027.
- Las proyecciones oficiales del NOAA Climate Prediction Center sugieren una probabilidad muy alta de continuidad de El Niño durante el resto de 2026, con potencial de intensificación hacia el otoño e invierno boreal de 2026–2027.
- Aunque todavía existe incertidumbre sobre la intensidad máxima final del evento, la intensificación proyectada de El Niño representa un factor de preocupación para el Caribe, ya que puede fortalecer su interacción con los patrones regionales de viento, nubosidad, mezcla vertical, precipitación y acumulación de calor superficial en el océano.
- El Pacífico tropical muestra señales claras de calentamiento, incluyendo anomalías térmicas significativas superficiales y subsuperficiales, así como un aumento sostenido del contenido de calor oceánico en los primeros 300 m de profundidad.
- El Atlántico tropical y el mar Caribe también han mostrado señales de calentamiento y desarrollo de olas de calor marino durante 2026, aunque a finales de junio se observó una reducción temporal en la extensión e intensidad de la ola de calor marina que afectaba sectores alrededor de Puerto Rico.
- Esta reducción temporal no elimina el riesgo para el verano tardío y el otoño de 2026, ya que el periodo crítico de acumulación térmica para Puerto Rico y el noreste del Caribe suele ocurrir entre finales del verano y comienzos del otoño.
- El riesgo de blanqueamiento coralino no depende únicamente de la temperatura máxima observada, sino de la duración acumulada del estrés térmico, medida mediante el indicador de semanas consecutivas de calor conducente a blanqueamiento o *Degree Heating Weeks* (DHWs).
- Un valor de 4 DHWs se asocia comúnmente con blanqueamiento significativo, mientras que valores superiores a 8 DHWs indican una alta probabilidad de blanqueamiento severo y mortalidad, particularmente en especies sensibles y en arrecifes previamente degradados.
- En 2023, Puerto Rico experimentó un evento histórico de blanqueamiento masivo asociado al calor extremo marino y al fortalecimiento de El Niño, alcanzando niveles de alerta sin precedentes y aproximadamente 19.1 DHWs.

- En 2024, la región volvió a experimentar un evento severo de blanqueamiento y mortalidad coralina, alcanzando una alerta 5 de blanqueamiento y una acumulación récord de aproximadamente 21.3 DHWs.
- Aunque 2025 fue relativamente menos severo, Puerto Rico y el noreste del Caribe alcanzaron nuevamente entre 11 y 12 DHWs, valores asociados comúnmente con condiciones muy severas de blanqueamiento y mortalidad significativa.
- La recurrencia de eventos térmicos severos durante 2023, 2024 y 2025 ha reducido la ventana de recuperación ecológica de los arrecifes coralinos de Puerto Rico y el Caribe ante diversas perturbaciones compuestas.
- Las especies coralinas estructurales y ecológicamente importantes, incluyendo *Acropora palmata* y *Acropora cervicornis*, podrían estar particularmente en riesgo debido a su exposición acumulada a eventos térmicos recurrentes, enfermedades, pérdida de tejido vivo, fragmentación y reducción en la capacidad de recuperación.
- Las proyecciones de NOAA Coral Reef Watch Program para julio–octubre de 2026 sugieren que Puerto Rico, las Antillas Mayores, el norte del Caribe y sectores del Caribe occidental podrían alcanzar condiciones de **alerta de blanqueamiento** si se intensifica nuevamente el estrés térmico durante el verano y otoño.
- De materializarse dicho escenario, el riesgo de un evento moderado a significativo de blanqueamiento coralino durante 2026 dependerá de la interacción entre El Niño, la temperatura del Atlántico tropical, la intensidad de los vientos alisios, la mezcla vertical de la columna de agua, la nubosidad, la frecuencia de eventos de enfriamiento y la acumulación progresiva de DHWs.
- Los arrecifes degradados pueden perder funciones ecológicas críticas, incluyendo provisión de hábitat, crianza de especies marinas, mantenimiento de biodiversidad, protección costera, sostenimiento de pesquerías y valor turístico-recreativo.
- La degradación coralina también puede aumentar la vulnerabilidad socioeconómica de las comunidades costeras, particularmente aquellas dependientes del turismo marino, la pesca, la recreación costera y la protección natural contra el oleaje y las marejadas.
- El 2026 debe manejarse como un año de vigilancia activa, preparación preventiva y respuesta adaptativa, aun cuando todavía no se pueda confirmar al momento la intensidad final del evento térmico.
- Se recomienda activar medidas preventivas desde las fases tempranas de vigilancia y advertencia emitidas por NOAA Coral Reef Watch Program, en lugar de esperar a que se alcancen niveles severos de alerta.
- Es prioritario fortalecer el monitoreo de arrecifes naturales, áreas restauradas, viveros de coral, zonas marinas protegidas y localidades de alto valor ecológico en las cuatro regiones geográficas principales de Puerto Rico.

- El monitoreo debe incluir, como mínimo, temperatura *in situ*, severidad de blanqueamiento, mortalidad parcial o total, enfermedades coralinas, pérdida de tejido vivo, cobertura de macroalgas y cianobacterias, sedimentación, turbidez y condición de las colonias en viveros y zonas restauradas.
- Se recomienda adoptar un sistema operacional de respuesta escalonada basado en los niveles de alerta de NOAA Coral Reef Watch Program y en la acumulación de DHWs, vinculando cada nivel de riesgo con acciones concretas de manejo.
- La reducción inmediata de estresores locales debe ser una prioridad, incluyendo el control de la sedimentación, turbidez, escorrentías, aguas usadas, contaminación costera, descargas ilegales, anclaje sobre arrecifes, contacto físico con corales, navegación irresponsable en aguas someras y presión recreativa excesiva.
- Los viveros y proyectos de restauración coralina deben recibir atención especial durante periodos de calor extremo, minimizando la manipulación innecesaria de corales, fortaleciendo la vigilancia de enfermedades y evaluando medidas temporeras de protección cuando sean viables.
- Se recomienda establecer o fortalecer una red de respuesta rápida entre la Sociedad Ambiente Marino (SAM), el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), universidades, organizaciones científicas, municipios costeros, comunidades, pescadores, operadores turísticos, buzos y científicos ciudadanos para documentar impactos en tiempo casi real.
- La comunicación pública del riesgo debe fortalecerse mediante boletines técnicos, actualizaciones breves, mensajes visuales y guías prácticas que expliquen el significado de las alertas, las acciones recomendadas y las formas de informar blanqueamiento, mortalidad coralina, enfermedades o impactos físicos.
- En conclusión, aunque todavía existe incertidumbre sobre la severidad final del evento térmico de 2026, la evidencia disponible justifica una respuesta preventiva, coordinada y adaptativa para reducir riesgos ecológicos y socioeconómicos asociados al calor extremo marino y al blanqueamiento masivo de corales.

I. Introducción

En las últimas décadas, el Caribe ha experimentado un aumento significativo en la frecuencia, intensidad y duración de las olas de calor marino. Esto ha resultado en un incremento en los riesgos de blanqueamiento y mortalidad de corales a través de toda la región, incluyendo a Puerto Rico.

Una **ola de calor marino** se define como un período prolongado en el que la temperatura de la superficie del mar se eleva significativamente por encima de la media histórica para una región específica. Generalmente, dicho **calor extremo** se prolonga durante varios días o semanas, aunque en algunos casos puede durar meses. Se considera que ocurre cuando la temperatura del agua supera un umbral específico, que suele ser un aumento de al menos 1°C (a veces más) por encima de la media climática de la región durante un período determinado. Las olas de calor marino pueden afectar áreas extensas y tienen el potencial de influir en las condiciones locales del clima, así como en la vida marina y los ecosistemas costeros. Las olas de calor marino tienen efectos significativos en los ecosistemas marinos, como el blanqueamiento de corales, la migración de especies de peces y la alteración de los hábitats. También pueden influir en la salud humana y en las actividades económicas, como la pesca y el turismo.

Las tendencias recientes de incrementos en la frecuencia, intensidad y duración de las olas de calor marino han tenido consecuencias destacables a través del Caribe. Estas han incluido:

1. **Aumento continuo de la temperatura del agua:** Las temperaturas del océano han aumentado debido al calentamiento global, lo que ha llevado a más eventos de olas de calor marino. Según estudios, la temperatura superficial del mar en el Caribe ha aumentado ~0.5 a 1.0 °C en los últimos 50 años.
2. **Aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos:** La variabilidad climática, como El Niño y La Niña, ha influido en estos patrones, contribuyendo a condiciones anómalas que favorecen las olas de calor.
3. **Efectos de la urbanización y las actividades humanas:** La urbanización costera y la contaminación también pueden exacerbar el calentamiento local de las aguas.

El calor extremo marino prolongado ha tenido diversas consecuencias en los ecosistemas marinos y costeros del Caribe:

1. **Arrecifes de coral:** El calor extremo en el agua puede provocar el blanqueamiento de los corales, que afecta su salud y supervivencia. Esto, a su vez, impacta la biodiversidad marina y los servicios ecosistémicos que brindan.
2. **Pesca y recursos marinos:** Las olas de calor pueden alterar la distribución de las especies de peces, lo que afecta la pesca local y la seguridad alimentaria. Algunas especies pueden migrar hacia aguas más frías, dejando a los pescadores sin acceso a sus recursos habituales.
3. **Ecosistemas de hierbas marinas y manglares:** La salud de los ecosistemas de hierbas marinas y manglares también puede verse comprometida ante el calor extremo y la pérdida acelerada de oxígeno disuelto en el agua, lo que afecta la biodiversidad y la protección de las costas.

4. **Impactos en la salud humana:** El aumento de la temperatura del mar puede también influir en la salud humana, ya que se relaciona con la proliferación de patógenos y enfermedades transmitidas por el agua. Las actividades de contacto directo y el consumo de mariscos contaminados pudieran poner en riesgo a la salud humana.

Se anticipa que las olas de calor marino seguirán aumentando en frecuencia y severidad en el futuro, con las siguientes implicaciones:

1. **Mayor frecuencia y/o intensidad de blanqueamiento de corales:** Con el calentamiento continuo, se prevé un aumento en la frecuencia de eventos de blanqueamiento en los corales, lo que puede llevar a una disminución poblacional drástica en numerosas especies de corales, lo que puede causar **puntos de inflexión ecológica** en los arrecifes de coral. Esto es un cambio ecológico de carácter irreversible donde la dominancia de los corales cambia por la dominancia de las macroalgas. Por tanto, se alteran sus funciones ecológicas y servicios, incluyendo su rol de crianza de especies y de amortiguar la energía del oleaje.
2. **Alteraciones en las comunidades de peces:** Las especies de peces pueden cambiar sus patrones de migración y reproducción, lo que afectará la pesca comercial y recreativa, así como numerosos roles ecológicos, principalmente el de la herbivoría.
3. **Aumento de la acidificación del océano:** La combinación del calentamiento del agua y la acidificación del océano puede tener efectos sinérgicos negativos sobre la vida marina, especialmente los organismos calcáreos, debido a la reducción en las tasas de calcificación. Esto debilitaría a largo plazo la estructura física y complejidad espacial de los arrecifes de coral, haciéndolos más vulnerables a los huracanes y a las marejadas invernales en el futuro.
4. **Desafíos para la adaptación costera:** Las comunidades costeras tendrán que enfrentar desafíos relacionados con la erosión, la pérdida de hábitats y los cambios en los recursos marinos, lo que requerirá estrategias de adaptación innovadoras y efectivas.
5. **Impactos socioeconómicos:** La disminución de los recursos pesqueros y la degradación de los ecosistemas marinos pueden tener consecuencias económicas significativas, afectando medios de vida y aumentando la vulnerabilidad de las comunidades costeras a los eventos climáticos extremos en el futuro.

El aumento en la frecuencia, intensidad y duración de las olas de calor marino en el Caribe representa un desafío crítico para la sostenibilidad ambiental y socioeconómica de la región. Es esencial implementar estrategias de mitigación y adaptación para abordar estos impactos y proteger los ecosistemas y comunidades vulnerables. De ahí la importancia de establecer mecanismos de vigilancia de calor extremo marino en Puerto Rico.

La **Sociedad Ambiente Marino (SAM)**, como parte de su rol vital en la educación para la conservación y restauración de los arrecifes de coral en Puerto Rico, inició en mayo del año 2023 la publicación mensual durante los meses del verano y comienzos de otoño un boletín técnico alertando sobre los riesgos que implica el calor extremo en el blanqueamiento y mortalidad de corales en Puerto Rico y el Caribe. En el 2024 la publicación se adelantó para el mes de abril. En el 2025 el primer boletín se publicó en junio debido a que el calor comenzó más tarde que en los dos años previos. Ahora en el 2026 el segundo boletín

se está publicando en el mes de junio debido a que las tendencias de calentamiento han mostrado un incremento consistente desde el mes de abril, como posible consecuencia del fortalecimiento gradual del fenómeno de El Niño.

Puerto Rico, así como la zona del Caribe en general, continúan siendo afectados desde el año 2023 por un evento de calentamiento del mar sin precedentes históricos recientes. Por primera vez en la historia, se emitió en el 2023 una **vigilancia de blanqueamiento** de corales para Puerto Rico tan temprano como en el 10 de mayo. Eventualmente, el 29 junio de ese año se emitió un **aviso de blanqueamiento** de corales. A comienzos de agosto se emitió una **alerta 1 de blanqueamiento** y eventualmente, se emitió una **alerta 2 de blanqueamiento**, lo cual se tradujo en un evento masivo de blanqueamiento y de mortalidad de corales. Este evento fue de tal magnitud, que por primera vez en la historia el Coral Reef Watch Program (CRWP) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) tuvo que crear nuevos niveles de alertas de blanqueamiento de corales, alcanzando Puerto Rico un nivel promedio de **alerta 4 de blanqueamiento**, el cual no tenía precedentes históricos al momento al alcanzarse 19.1 semanas consecutivas de calor estresante conducente al blanqueamiento, lo que se conoce como **Degree Heating Weeks (DHWs)**, lo que discutiremos más adelante en el documento.

El evento de calentamiento del mar y de blanqueamiento masivo de corales del 2023 fue una de las consecuencias directas del calor marino extremo consecuencia del cambio climático, el cual se magnificó ante el fortalecimiento del fenómeno de El Niño. Sin embargo, durante el 2024 ocurrió un cambio significativo al menguar las condiciones de El Niño y cambiar gradualmente hacia condiciones dominantes de La Niña. Esto coincidió nuevamente con unas condiciones de calor marino extremo sin precedentes a través del Caribe, pero en esta ocasión, principalmente en la mitad este del Caribe, el cual resultó en la emisión récord de una **alerta 5 de blanqueamiento** debido a la acumulación récord de 21.3 DHWs y de otro evento masivo de blanqueamiento y mortandad de corales, con potenciales consecuencias ecológicas y socioeconómicas adversas para la región. Y aunque durante el 2025 no ocurrió un evento similar, de todas formas, la zona de Puerto Rico y el noreste del Caribe alcanzaron nuevamente de 11 a 12 DHWs, lo que representa usualmente condiciones muy severas de blanqueamiento y mortalidad significativa de corales.

Ante la preocupación generada por esta situación, la Sociedad Ambiente Marino (SAM) ha publicado su volumen 4, número 2 del boletín técnico titulado: **“Análisis de los riesgos de calor extremo marino y de blanqueamiento masivo de corales durante el 2026”**. Este resume cuáles son los impactos actuales de diversas variables climatológicas y oceanográficas en los ecosistemas marinos y costeros de Puerto Rico y el Caribe que sugieren nuevamente un riesgo elevado de otro evento de blanqueamiento masivo de corales similar a los que la SAM pronosticó con alta precisión para la región utilizando la mejor evidencia científica disponible durante el 2023 y el 2024.

II. Objetivo

El objetivo de este documento es resumir en español la información actualizada a mediados de mayo de 2026 sobre la evolución de las condiciones oceanográficas potencialmente conducentes al blanqueamiento de los corales y resume gran parte de la evidencia recopilada de las fuentes primarias de monitoreo de las condiciones ambientales, atmosféricas y oceanográficas en el planeta. El análisis se nutre de diversas fuentes, que incluyen información derivada de satélites, boyas y otros sensores meteorológicos operados por agencias gubernamentales e instituciones académicas. Para cada imagen

presentada se ofrece su referencia original, de las cuales se resumen los datos más importantes y relevantes para el Caribe y Puerto Rico. Además, se proveen descripciones generales de cada indicador evaluado que ayudan en su interpretación. En este informe se provee, además, información documental sobre los riesgos del blanqueamiento de corales en 16 localidades de Puerto Rico, cuatro por cada una de las regiones geográficas principales, basada en los análisis que hemos derivado de productos nuevos disponibles por el NOAA-CRWP desde el 2023 y el 2024.

Esta publicación generada conjuntamente por los Programas de Investigación en Ciencia del Clima (C.S.R.P.) y el de Conservación, Vitalización y Restauración Ecológica de los Arrecifes (R.E.C.O.V.E.R.) de la SAM constituye nuestra interpretación técnica de la información oficial hecha pública por agencias como NOAA y otras fuentes similares. Se recomienda al público en general y al personal de las agencias gubernamentales reguladoras y manejadoras de recursos a utilizar este documento como una herramienta adicional útil para sus procesos de toma de decisiones, planificación y para sus respectivas acciones de manejo y respuesta ante la evolución de estas condiciones. Sin embargo, siempre deben hacer referencia a las fuentes oficiales de información, las cuales se citan a lo largo del documento.

En tiempos en donde se han realizado y se vislumbra continúen realizándose cambios significativos en el personal y en las operaciones de numerosos programas en NOAA, NASA, en el Servicio Nacional de Meteorología (NWS, por sus siglas en inglés) y en otras agencias federales, este documento reviste mayor importancia para la comunidad en general, la academia, para los restauradores de arrecifes de coral y para los manejadores de recursos naturales. Dada la incertidumbre en cuanto a la permanencia en operaciones de muchos de dichos programas, no podemos garantizar que en el futuro cercano algunas de estas herramientas de información puedan mantenerse en operaciones y disponibles al público. Esto podría afectar significativamente nuestra capacidad de análisis y de hacer proyecciones en el futuro sobre el impacto del calor marino extremo sobre los riesgos de blanqueamiento de corales.

El valor de este documento recae en proveer en una sola fuente en español de todas las referencias originales de numerosas fuentes de información útiles, muchas de ellas actualizadas a diario, las cuales ayudan a la toma de decisiones informadas con información siempre actualizada. Por ende, el documento es útil también para otros países de habla hispana en el Caribe. Nuestras interpretaciones de la información técnica se basan únicamente en la experiencia y conocimiento técnico de su autor. Cualquier pregunta técnica al respecto, pueden contactar directamente a su autor en la SAM a través de edwinhernandez@sampr.org.

III. Proyecciones de El Niño y La Niña

La actualización más reciente de la proyección oficial emitida por el Centro de Predicción Climática de NOAA durante el mes de mayo de 2026 sugiere que existen condiciones neutrales de El Niño, las que van menguando rápidamente y van en transición hacia una condición fuerte de El Niño durante el resto del 2026 (Figuras 1 y 2).

En la Figura 3 se observa el patrón de distribución geográfica de las diversas zonas a través de las cuales desarrolla el fenómeno de El Niño a través de las fluctuaciones de la llamada Circulación de Walker a lo largo del Océano Pacífico tropical. En estas zonas se monitorea la temperatura para desarrollar el Índice de la Oscilación de El Niño, el cual es un indicador de su estado de desarrollo. La Circulación de Walker es un patrón de circulación atmosférica a gran escala que juega un papel crucial en el desarrollo del

fenómeno de El Niño. Es un sistema de vientos y presión atmosférica que circulan por la región del Pacífico tropical, lo que se ilustra en las Figuras 6 y 7.

Los hallazgos más importantes del informe mensual de NOAA sobre la progresión del ENSO sugieren que:

1. **El Niño tiene alta probabilidad de formarse pronto:** El informe estima una probabilidad de **97%** de que El Niño emerja durante **mayo–julio de 2026**, lo cual ya ha ocurrido. Además, proyecta una probabilidad de **100%** para el resto del año, al menos hasta el período de **diciembre de 2026 a febrero de 2027**.

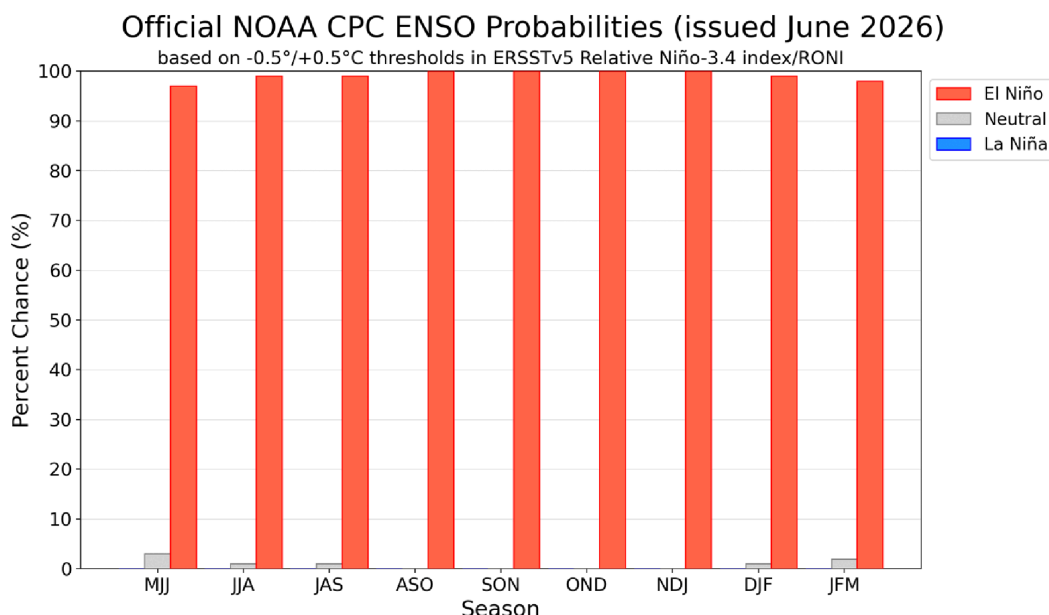


FIGURA 1. Pronóstico oficial del NOAA Climate Prediction Center sobre el desarrollo de las condiciones de El Niño y La Niña durante el 2026-2027 en la zona El Niño 3.4. Fuente: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/figure07.gif (accedido: 1 de julio de 2026).

2. Se proyecta un incremento gradual en la intensificación de ENSO entre 2026 y 2027: Para el período de julio, agosto y septiembre se proyecta apenas una probabilidad de 11% de que el fenómeno de El Niño se mantenga como un evento débil. La probabilidad de un ENSO moderado es de 46%, mientras que la de un ENSO fuerte es de 37% y la de un ENSO super fuerte es de 7%. Sin embargo, la proyección para el período de octubre a diciembre de 2026 sugiere que la probabilidad de un ENSO débil es de 2%, de un ENSO moderado es de 9%, mientras que la de un ENSO fuerte es de 27% y la de un ENSO super fuerte es de 62%.

3. El océano ya muestra señales claras de calentamiento: Un dato clave es que el contenido de calor subsuperficial del Pacífico ecuatorial aumentó por **sexto mes consecutivo**. Las Figuras 4 y 5 muestran anomalías cálidas importantes bajo la superficie del océano, entre 0 y 300 m de profundidad. Esto sugiere que hay calor acumulado en el sistema oceánico, lo cual puede alimentar el desarrollo de El Niño en los próximos meses.

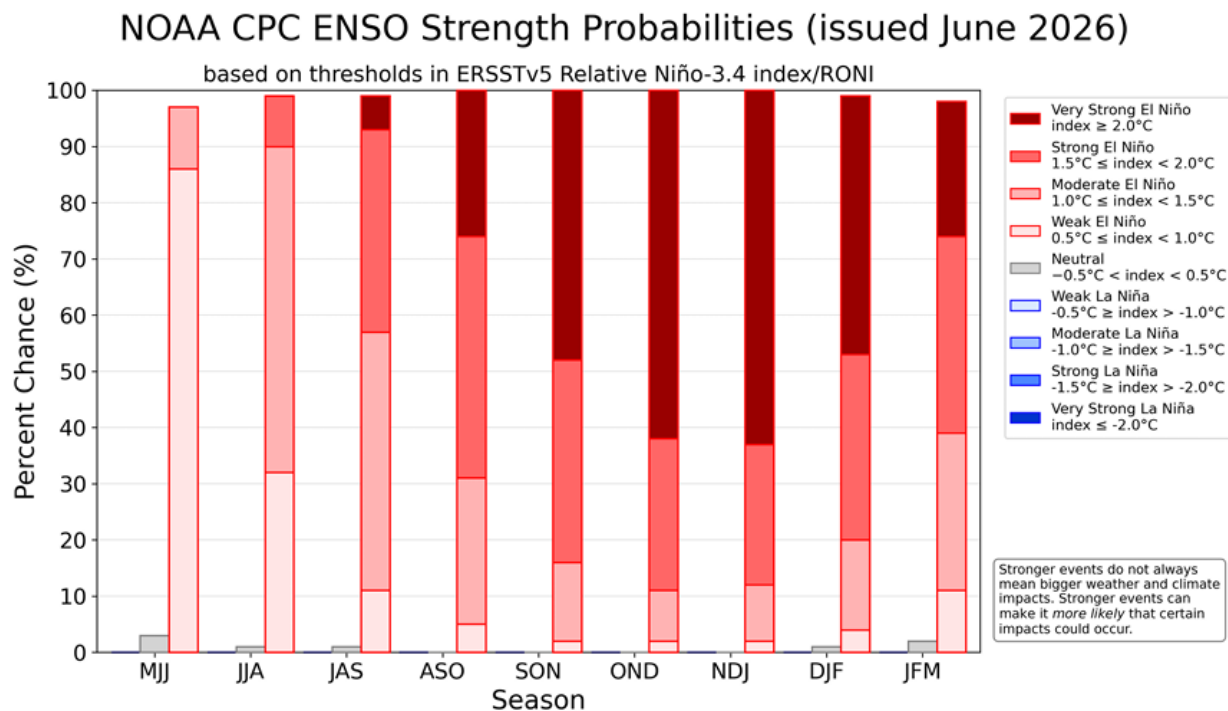


FIGURA 2. Pronóstico oficial del NOAA Climate Prediction Center sobre el nivel de intensificación de las condiciones de El Niño y La Niña durante el 2026-2027 en la zona El Niño 3.4. Fuente: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc.pdf. (accedido: 1 de julio de 2026).

4. La atmósfera todavía no está completamente acoplada al océano: El informe menciona anomalías de vientos del oeste en el Pacífico ecuatorial occidental y señales en niveles altos sobre el Pacífico central y oriental. También se observó convección cerca del promedio cerca de la Línea Internacional de Cambio de Fecha y convección suprimida cerca de Indonesia. Sin embargo, en conjunto, el sistema océano-atmósfera todavía reflejaba condiciones neutrales, no un El Niño completamente establecido.

5. Los modelos favorecen El Niño hasta el invierno 2026–2027: El promedio del **North American Multi-Model Ensemble (NMME)**, incluyendo el modelo **NCEP CFSv2**, favorece que El Niño se forme para el próximo mes y persista durante el invierno del hemisferio norte. La Figura 7 muestra que las proyecciones del índice Niño-3.4 tienden a subir claramente durante 2026.

6. Hay mucha incertidumbre sobre la intensidad máxima: Aunque la probabilidad de que ocurra El Niño es alta, el informe enfatiza que todavía existe **incertidumbre considerable sobre cuán fuerte será**. Ninguna categoría de intensidad supera el **37% de probabilidad**, lo que significa que todavía no se puede afirmar con seguridad si será débil, moderado, fuerte o muy fuerte.

7. Un El Niño fuerte no garantiza impactos fuertes: El informe aclara algo importante: aunque un evento de El Niño más fuerte puede aumentar la probabilidad de ciertos impactos climáticos, **no garantiza automáticamente impactos severos**. Los efectos dependen de cómo evolucione el acoplamiento océano-atmósfera y de otros patrones regionales.

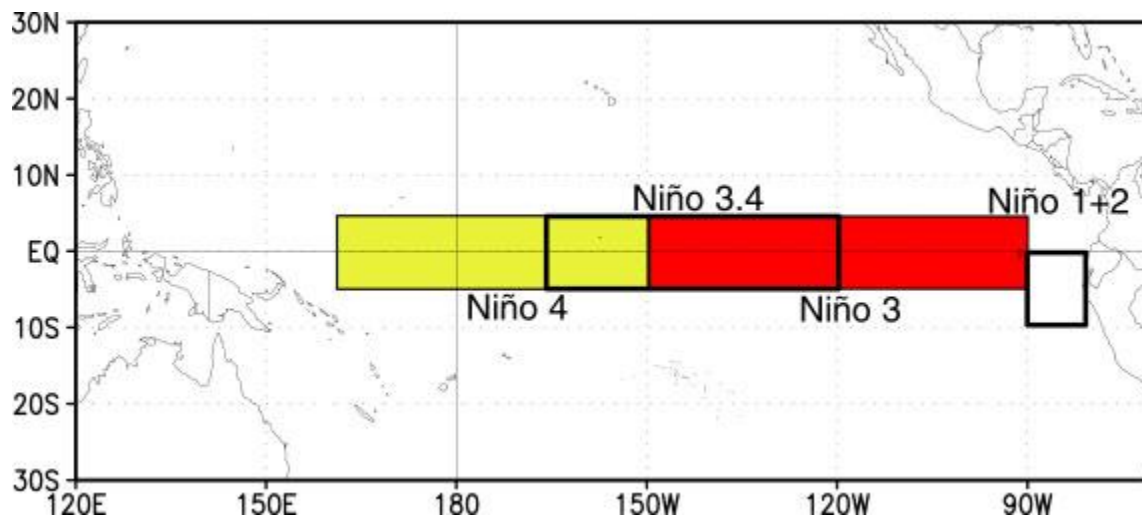


FIGURA 3. A) Mapa de la distribución espacial de las diversas zonas de desarrollo del fenómeno de El Niño a lo largo del Océano Pacífico tropical. Fuente: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/nino_regions.shtml (accedido: 7 de mayo de 2023).

Usualmente, cuando el fenómeno de El Niño se comienza a desarrollar las primeras manifestaciones de aumentos en temperatura de la superficie del mar, así como en los patrones de circulación y de presión atmosférica ocurren en la llamada zona de El Niño 1+2, el oeste de América del Sur. Luego, esta se mueve hacia las zonas de El Niño 3 y el Niño 3.4. Finalmente, se extiende hasta la zona de El Niño 4, en un desplazamiento de las corrientes cálidas hacia el Pacífico tropical central y luego hacia el oeste. Cuando ocurre lo contrario, un patrón de enfriamiento en la temperatura a través de dichas zonas, entonces se desarrolla la condición conocida como La Niña.

Durante los eventos de El Niño, el agua cálida en el Océano Pacífico tropical central y oriental se expande hacia el este, hacia las Américas, provocando cambios en la circulación atmosférica y los patrones climáticos (llamado el Circulación de Walker). Estos cambios pueden resultar en sequías, inundaciones y otras condiciones climáticas extremas en diferentes regiones del mundo. Dichos patrones varían geográficamente y a través del tiempo, dependiendo de la época del año y de la intensidad de El Niño. Dichos patrones se alteran completamente tras el desarrollo de La Niña.

En el Caribe, El Niño puede generar condiciones más secas en algunas partes de la región, particularmente en las islas del Caribe oriental, donde se localiza Puerto Rico. Esto se debe a que el debilitamiento de los vientos alisios, que son los vientos predominantes del este en los trópicos, puede provocar una reducción de las precipitaciones en algunas zonas, aunque dichas teleconexiones no siempre son homogéneas ni simétricas, lo que significa que puede tener mucha variabilidad. Dicha variabilidad en los efectos de las teleconexiones puede deberse a múltiples factores, incluyendo la estacionalidad y la intensidad o severidad de El Niño. Usualmente, mientras más fuerte es el evento, más fuerte suelen ser los efectos de las teleconexiones y las consecuencias.

La reducción de las precipitaciones ante eventos fuertes de El Niño puede dar lugar a condiciones de sequía, que pueden afectar a la agricultura, los recursos hídricos y otros sectores que dependen de la

disponibilidad de agua. Las temperaturas más cálidas de la superficie del mar asociadas con El Niño también pueden afectar los ecosistemas marinos, provocando cambios en la pesca, efectos adversos en los arrecifes de coral y otros hábitats relacionados generalmente asociados al blanqueamiento de los corales.

Sin embargo, es importante señalar que los impactos de El Niño en el Caribe también pueden verse influenciados por otros factores, incluyendo diversas oscilaciones climatológicas, como la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, por sus siglas en inglés), que puede interactuar con El Niño para producir diferentes patrones climáticos en el Atlántico tropical y el Caribe. Por lo tanto, es fundamental monitorear y estudiar estos fenómenos climáticos para comprender mejor sus impactos combinados en el Caribe y otras regiones del mundo.

En la Figura 4 se observa el patrón de distribución de las diversas zonas de la llamada Circulación de Walker a lo largo del Océano Pacífico tropical. La Circulación de Walker es un patrón de circulación atmosférica a gran escala que juega un papel crucial en el desarrollo del fenómeno de La Niña y de El Niño. Es un sistema de vientos y presión atmosférica que circulan por la región del Pacífico tropical.

La circulación de Walker consta de dos ramas, los "vientos alisios" hacia el este y los "vientos alisios" hacia el oeste. Los vientos alisios soplan de este a oeste a través del Pacífico tropical, empujando las aguas superficiales cálidas hacia el Pacífico occidental. El agua tibia luego se acumula en el Pacífico occidental, creando un sistema de baja presión que atrae más aire húmedo y genera más lluvia. Los contraataques o la circulación en sentido contrario, también conocidos como la célula de Walker, soplan en dirección opuesta, de oeste a este, en la atmósfera superior. Estos vientos descienden sobre el Pacífico oriental, creando una alta presión y suprimiendo la convección de aguas cálidas y la lluvia.

La Figura 4a muestra la configuración espacial de la Circulación Walker durante la fase conocida como la Circulación de La Niña. La Niña es la contraparte de El Niño y representa la fase fría del patrón climático de la Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) en el Océano Pacífico tropical. Durante los eventos de La Niña, los vientos alisios en el Océano Pacífico tropical se vuelven más fuertes y las corrientes oceánicas son más vigorosas, lo que conduce a un enfriamiento de la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico tropical oriental y central. Este es el tipo de condición que se está restableciendo rápidamente en el Pacífico tropical durante el 2024 luego del evento fuerte de El Niño del 2023 al 2024.

Las siguientes son algunas de las características de la circulación de La Niña:

Vientos alisios más fuertes: Los eventos de La Niña se asocian con vientos alisios más fuertes que soplan de este a oeste a través del Océano Pacífico tropical. Estos vientos empujan las aguas cálidas de la superficie hacia el Pacífico occidental, lo que provoca un afloramiento de agua fría en el Pacífico oriental. Esto provoca un enfriamiento de la temperatura de la superficie del mar en esa región.

Afloramiento de agua fría: Los vientos alisios más fuertes que ocurren durante los eventos de La Niña promueven el afloramiento de agua fría y rica en nutrientes desde las profundidades del océano, lo que puede tener impactos significativos en los ecosistemas marinos y la pesca, sobre todo en la costa oeste de América del Sur.

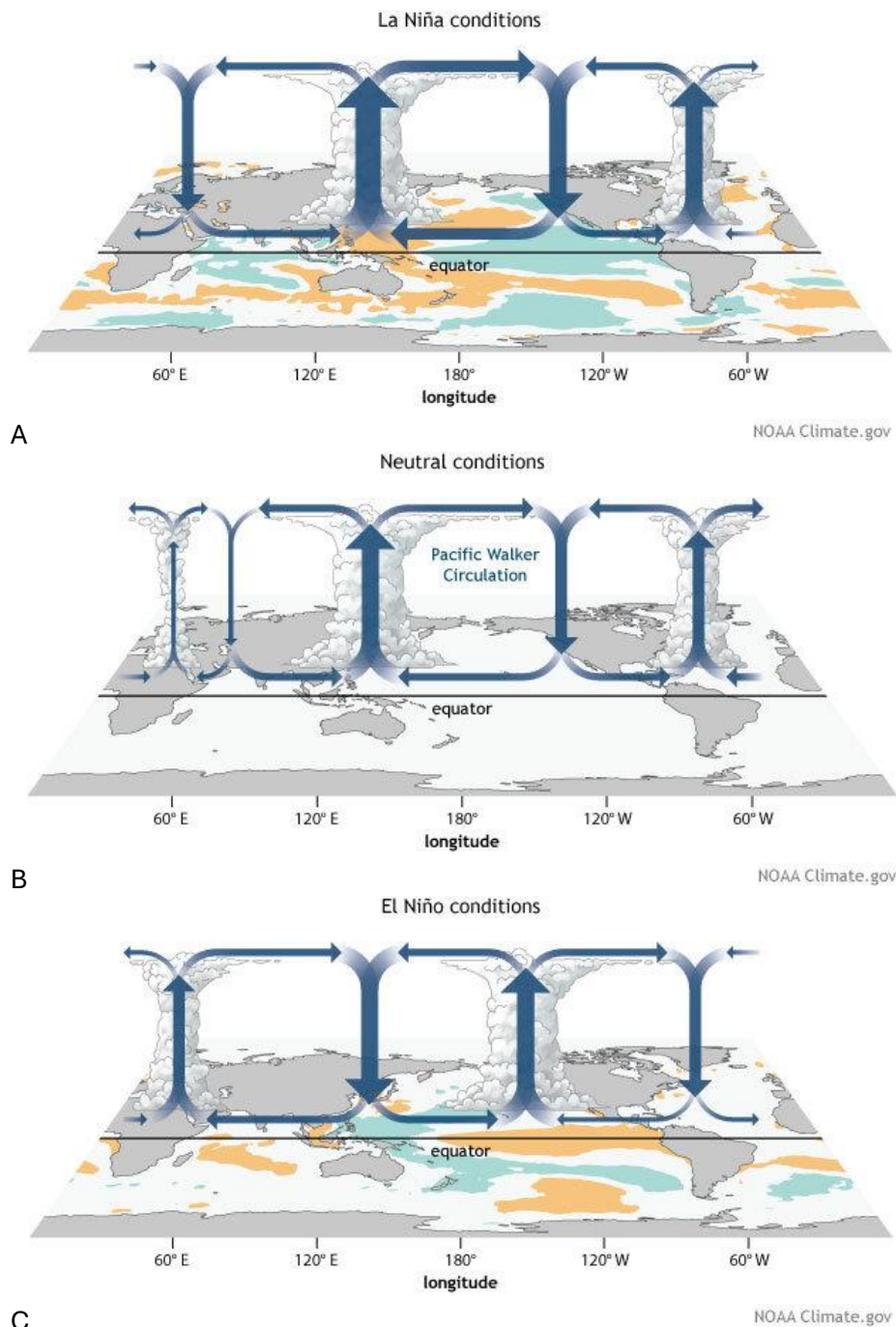


FIGURA 4. Patrones de variación de la Circulación Walker en el Océano Pacífico Tropical entre las condiciones: A) La Niña; B) Condiciones neutrales; y C) el desarrollo del fenómeno de la Oscilación del Sur de El Niño (ENSO). Fuente: <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/walker-circulation-ensos-atmospheric-buddy> (accedido: 7 de mayo de 2023).

Presión atmosférica más baja: La presión atmosférica sobre el Pacífico occidental es más baja que el promedio durante los eventos de La Niña, mientras que la presión sobre el Pacífico oriental es más alta que el promedio. Esto conduce a cambios en los patrones de circulación atmosférica y las condiciones climáticas en todo el mundo. En el caso del Mar Caribe, las condiciones de La Niña tienden a favorecer mayor humedad, mayor precipitación pluvial, menor incidencia de vientos cortantes (“windshear”) del suroeste y mayor desarrollo ciclónico.

Aumento de las precipitaciones en algunas áreas: los eventos de La Niña pueden provocar un aumento de las precipitaciones en algunas regiones, como Indonesia, Australia y partes de América del Sur y el Caribe. Esto puede ocurrir en función de las diversas teleconexiones entre El Niño o La Niña y otras oscilaciones en diversas partes del mundo (Figuras 5a y 5b).

Aumento de la actividad de los huracanes en el Atlántico: Los eventos de La Niña también pueden influir en la actividad de los huracanes en el Atlántico al crear condiciones atmosféricas más favorables para la formación e intensificación de los huracanes debido al aumento general de la humedad en la región del Atlántico tropical y el Caribe (Figura 5a)

Comprender las características de la circulación de La Niña es importante para predecir y gestionar sus impactos en los patrones climáticos, los ecosistemas marinos y otros sectores que dependen de las condiciones climáticas, como la agricultura y los recursos hídricos.

La Figura 4b muestra la configuración de la Circulación Walker durante las condiciones neutras de El Niño y La Niña. Cuando el patrón climático de ENSO se encuentra en una condición neutral, ni El Niño ni La Niña están presentes. Esto significa que las temperaturas de la superficie del mar en el Océano Pacífico tropical están cerca del promedio y las condiciones atmosféricas son relativamente estables a lo largo de todo el Pacífico tropical.

Algunos de los efectos de esta condición neutral incluyen los siguientes:

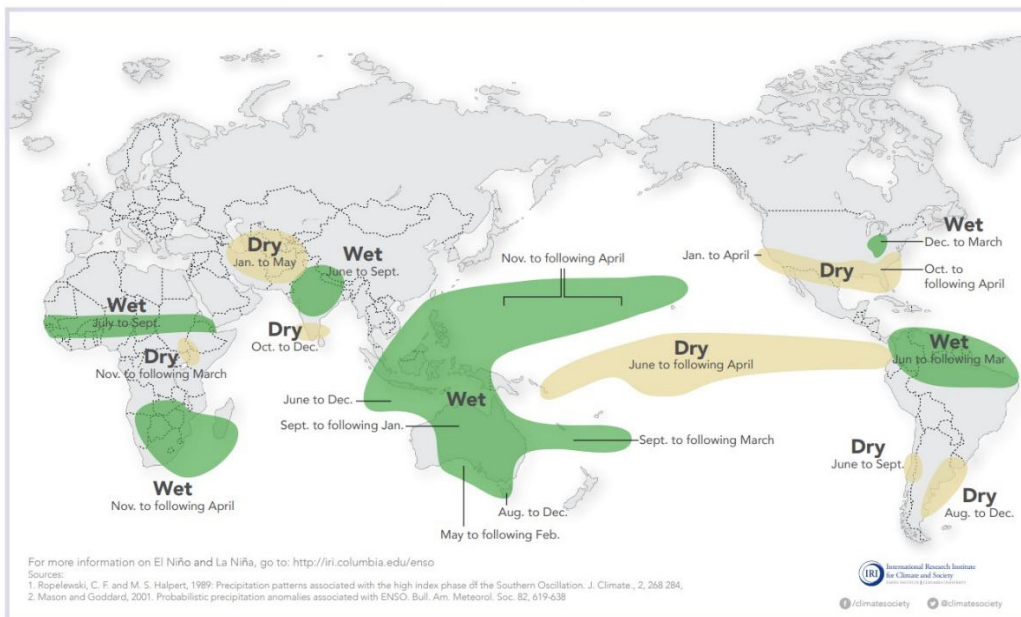
Patrones climáticos más predecibles: Durante una condición de ENSO neutral, los patrones climáticos tienden a ser más predecibles y menos extremos que durante los eventos de El Niño o La Niña. Esto puede ser beneficioso para los sectores que se ven afectados por la variabilidad climática, como la agricultura, la gestión del agua y la producción de energía. Igualmente, es beneficioso para los ecosistemas marinos, los cuales son particularmente vulnerables, por ejemplo, en la zona del Caribe a las altas temperaturas prolongadas que suelen registrarse durante El Niño.

Impactos neutrales en la temperatura global: El impacto general de una condición de ENSO neutral en las temperaturas globales es relativamente pequeño en comparación con los eventos de El Niño y La Niña. Sin embargo, todavía puede tener algunos impactos locales en los patrones de temperatura y precipitación en ciertas regiones.

Menor actividad de huracanes en el Atlántico: una condición ENSO neutral tiende a conducir a una menor actividad de huracanes en el Atlántico en comparación con los eventos de La Niña, ya que este último puede crear condiciones atmosféricas más favorables para la formación e intensificación de huracanes.

La Niña and Rainfall

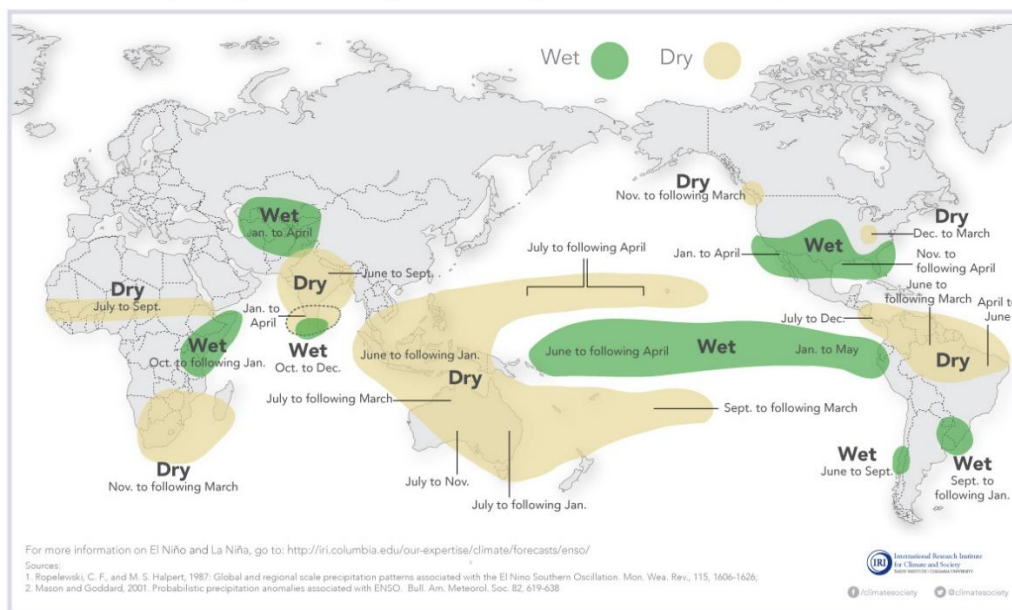
La Niña conditions in the tropical Pacific are known to shift rainfall patterns in many different parts of the world. Although they vary somewhat from one La Niña to the next, the strongest shifts remain fairly consistent in the regions and seasons shown on the map below.



A

El Niño and Rainfall

El Niño conditions in the tropical Pacific are known to shift rainfall patterns in many different parts of the world. Although they vary somewhat from one El Niño to the next, the strongest shifts remain fairly consistent in the regions and seasons shown on the map below.



B

FIGURA 5. Patrones generales de teleconexiones climatológicas a escalas globales de: A) La Niña; y B) El Niño. Fuente: <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/how-enso-leads-cascade-global-impacts> (accedido: 9 de mayo de 2023).

Impactos en los ecosistemas marinos: una condición ENSO neutral aún puede tener algunos impactos en los ecosistemas marinos de algunas regiones del planeta, como alterar los patrones de distribución y abundancia de algunas especies marinas. Sin embargo, los impactos son generalmente menos severos que durante los eventos de El Niño y La Niña.

La Figura 4c ilustra la configuración de la Circulación Walker durante las condiciones de desarrollo fuerte de El Niño. Un evento fuerte de El Niño es una fase particularmente intensa del patrón climático del ENSO, que se caracteriza por temperaturas de la superficie del mar más cálidas que el promedio en el Océano Pacífico tropical oriental y central. Durante los eventos fuertes de El Niño, la circulación de Walker se debilita o incluso se invierte (Figura 4c), lo que provoca una reducción de los vientos alisios y cambios en la presión atmosférica y los patrones de lluvia. Esto puede conducir a la acumulación de agua tibia en el Pacífico central y oriental, y cambios en los patrones climáticos en todo el mundo. Estas son algunas de las características clave de un El Niño fuerte:

Temperaturas oceánicas más cálidas: Las temperaturas oceánicas en el Océano Pacífico tropical oriental y central pueden estar hasta 2-3°C por encima del promedio durante un fuerte evento de El Niño, que puede tener un impacto significativo en los patrones climáticos globales. En ocasiones, algunas zonas dentro de la región de El Niño 1+2 han alcanzado a veces temperaturas de +4 a +6°C por encima del promedio, con impactos muy significativos.

Cambios en la circulación atmosférica: Durante un El Niño fuerte, los patrones de circulación atmosférica en todo el mundo se ven significativamente afectados, lo que lleva a cambios en los patrones de lluvia, temperatura y viento, aun cuando las relaciones entre El Niño y esas variaciones en los patrones climáticos no sea una lineal, ya que muchos otros factores regionales pueden afectar el clima. Pero, por ejemplo, partes de América del Sur, incluidos Perú y Ecuador, pueden experimentar fuertes lluvias e inundaciones durante El Niño, mientras que las regiones del sudeste asiático y el Caribe pueden experimentar condiciones de sequía. De nuevo, los patrones de teleconexiones globales de El Niño (Figura 4b) generalmente implican un clima cálido y seco en el Caribe y el norte de América del Sur, pero esto puede ser variable en función de la estacionalidad, el grado de desarrollo e intensidad de El Niño y posibles factores geográficos locales.

Eventos climáticos extremos más frecuentes y severos: Los eventos fuertes de El Niño pueden aumentar la frecuencia y la gravedad de los eventos climáticos extremos, como inundaciones, sequías, huracanes e incendios forestales en diversas regiones del mundo.

Impactos en la agricultura y la seguridad alimentaria: Los impactos de El Niño en la agricultura y la seguridad alimentaria, incluyendo en la productividad de las pesquerías marinas, pueden ser igualmente significativos, ya que los cambios en los patrones climáticos pueden provocar malas cosechas, pérdidas de ganado y rendimientos reducidos en las pesquerías.

Cambios en los ecosistemas oceánicos: los eventos fuertes de El Niño pueden tener impactos significativos en los ecosistemas oceánicos, incluidos cambios en la distribución de algunas especies marinas, reducción de la productividad del plancton, en el rendimiento de las pesquerías y aumento de los eventos de blanqueamiento de corales.

Impactos en la temperatura global: Durante un El Niño fuerte, las temperaturas globales tienden a ser más altas que el promedio, ya que la liberación de calor del Océano Pacífico tropical puede conducir a un

aumento temporal del calentamiento global. El patrón documentado de tendencias de aumentos en la temperatura del mar en el Pacífico tropical oriental y a través del Mar Caribe y el Atlántico tropical sugieren que estamos ante el desarrollo inequívoco de un evento fuerte de El Niño durante el resto del 2023, con consecuencias potencialmente significativas para la región del Caribe y Puerto Rico.

Comprender las características de un fuerte evento de El Niño es importante para predecir y gestionar sus impactos en varios sectores y regiones del mundo.

IV. Evidencia documental de los patrones de calentamiento del mar

El informe más reciente sobre la dinámica de El Niño indica que **La Niña terminó, el sistema está en condiciones ENSO-neutrales, pero hay una alta probabilidad muy alta de que El Niño se desarrolle durante 2026**. La temperatura superficial del mar a través del Pacífico tropical ya evidencia una tendencia clara de calentamiento.

La Figura 6 ilustra la variación en los patrones espacio-temporales en las anomalías térmicas en las diversas zonas geográficas de El Niño a través del Pacífico tropical (ver Figura 3). Esta sugiere que la zona El Niño 1+2 se registró entre marzo y junio de 2026 un cambio rápido en la anomalía térmica del mar fluctuando desde $+0.8^{\circ}\text{C}$ durante el mes de marzo hasta alcanzar $+2.1^{\circ}\text{C}$ durante junio (Figura 6). En tanto, la zona El Niño 3 cambió durante el mismo período de -0.4 a $+1.0^{\circ}\text{C}$. La zona El Niño 3.4 cambió de -0.6°C en marzo de 2026 a $+0.7^{\circ}\text{C}$ en junio, mientras que la zona 4 cambió de -0.3°C en marzo a $+0.6^{\circ}\text{C}$ en mayo. Esto sugiere una transición gradual y sostenida hacia el desarrollo gradual de condiciones de El Niño a partir del verano de 2026.

La Figura 7a presenta una zona que se extiende por unos 11,200 km desde América del Sur a través del Pacífico tropical con aguas superficiales mostrando anomalías térmicas de $+1$ a $+3^{\circ}\text{C}$, evidenciando la formación e intensificación gradual del fenómeno de El Niño. En la zona E Niño 1+2 las temperaturas en promedio superan $+3^{\circ}\text{C}$. La Figura 7b evidencia que el Pacífico tropical ha alcanzado en los últimos meses una anomalía térmica de hasta $+2.3^{\circ}\text{C}$ en mayo y a finales junio aun $+1.7^{\circ}\text{C}$, condiciones conducentes al desarrollo de El Niño. La Figura 7c sugiere anomalías superiores a $+6^{\circ}\text{C}$ en un lente de agua muy extenso entre 40 y 120 m de profundidad a lo largo de una zona que se extiende por más de 6,000 km hacia el este en el Pacífico tropical desde las costas de América del Sur, así como de $+4$ a $+6^{\circ}\text{C}$ en zonas que se extienden desde la superficie hasta 230 m a través de una zona que se extiende sobre 7,700 km. Además, existen zonas amplias de anomalías de al menos $+1$ a $+2^{\circ}\text{C}$ en la zona El Niño 1+2 que superan los 300 m de profundidad. Igual zonas de temperaturas similares a profundidades de 200 a 250 m a través del Pacífico tropical. En general, las zonas de anomalías positivas de temperatura trascienden el Pacífico y el Índico a través de más de 24,000 km. Esto es una indicación clara del desarrollo rápido de condiciones conducentes a un evento muy destacable de El Niño.

La evidencia en tiempo real de los patrones de distribución de temperatura en el este al centro del Pacífico tropical muestra una anomalía térmica positiva significativa frente a las costas de Perú, Ecuador y Colombia, alcanzando hasta $+3.9^{\circ}\text{C}$ alrededor de las Islas Galápagos (Figura 8). El resto del Pacífico tropical evidencia una tendencia muy rápida de calentamiento al comparar los meses de mayo (Figura 8a) y de julio (Figura 8b).

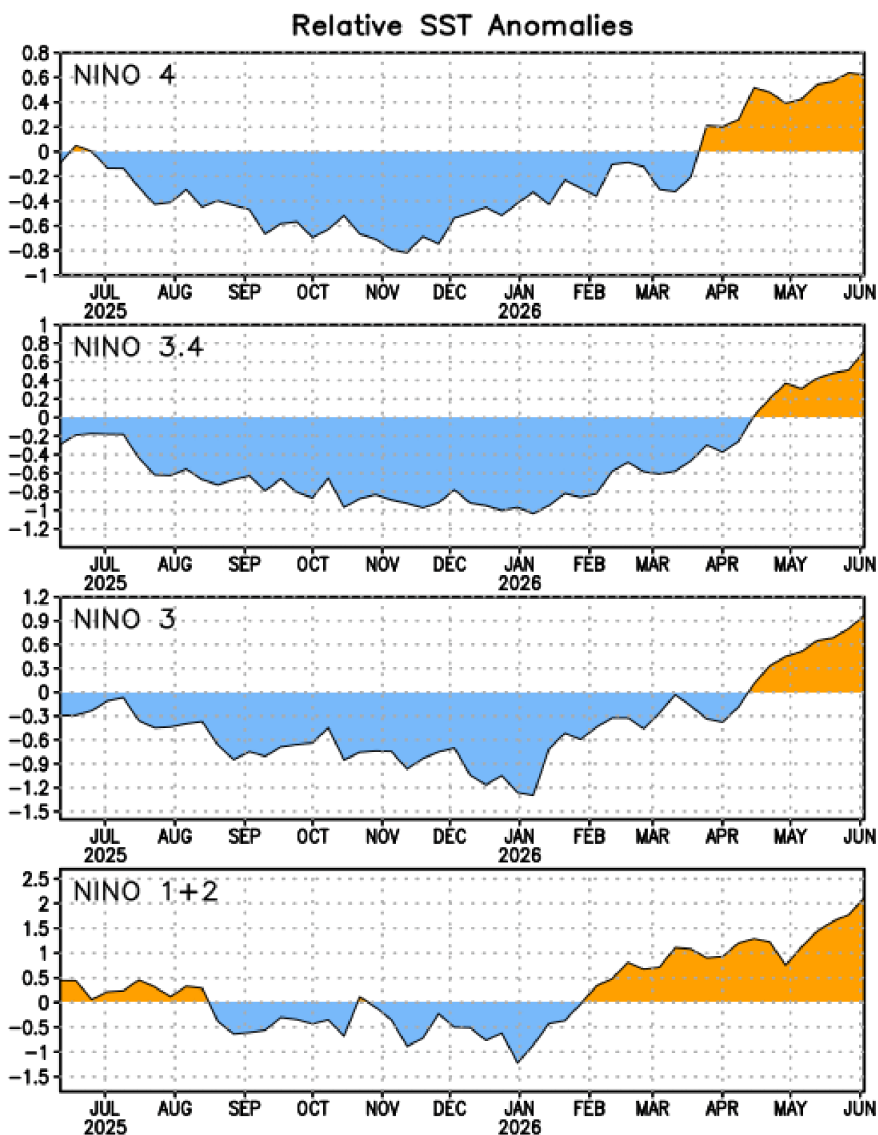


FIGURA 6. Series de tiempo de los promedios de área de las anomalías térmicas (°C) de las regiones de El Niño en el Océano (Pacífico). Las anomalías se calcularon contra la base histórica de datos de 1991-2020 utilizando los promedios semanales.
https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/figure02.gif
(Accedido: 1 de julio de 2026).

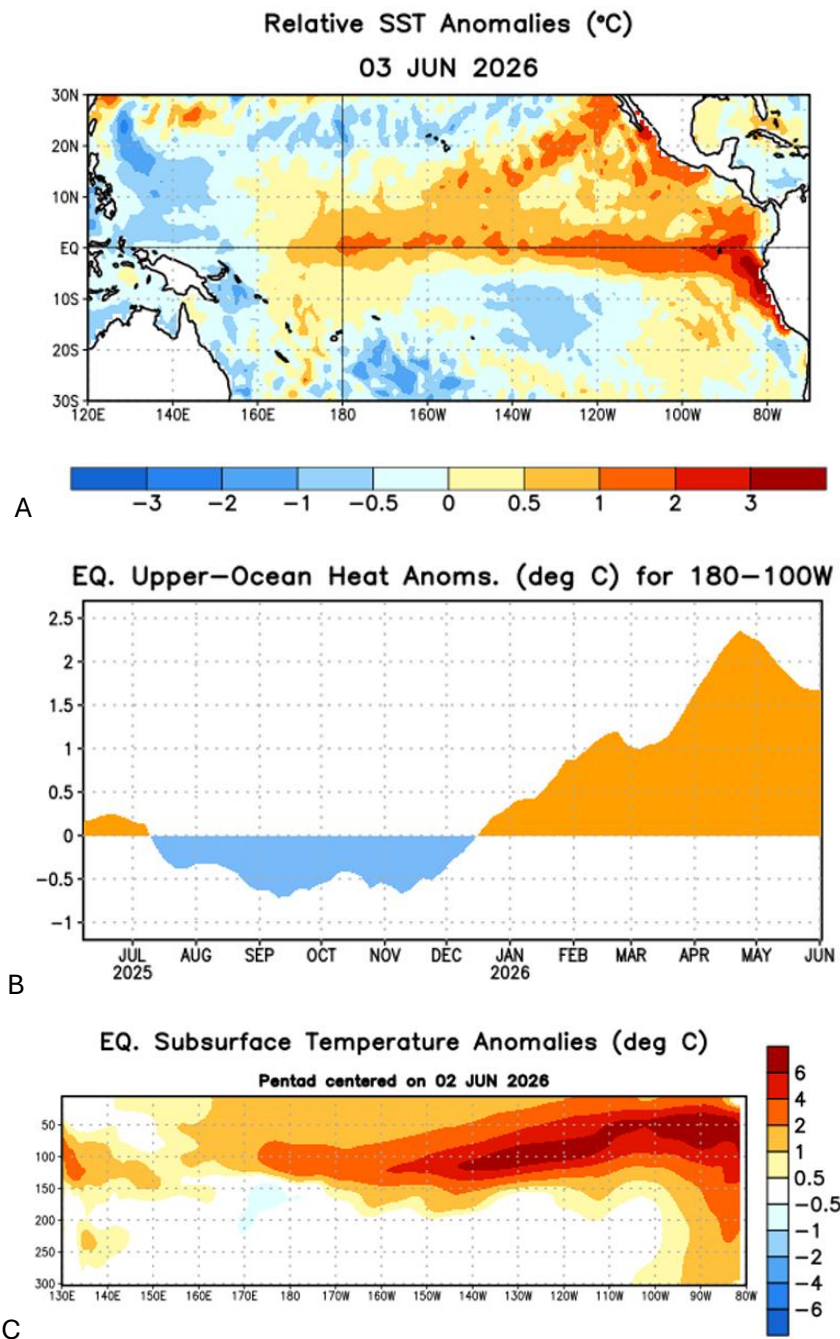


FIGURA 7. A) Anomalías térmicas (°C) en la superficie del mar en el Pacífico Tropical; B) Anomalías térmicas (°C) subsuperficiales (0-300 m) de las regiones de El Niño en el Océano Pacífico; C) Variación longitudinal en las anomalías térmicas (°C) subsuperficiales (0-300 m) de las regiones de El Niño en el Océano Pacífico. Las anomalías se calcularon contra la base histórica de datos de 1991-2020 utilizando los promedios semanales. Fuente: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ (Accedido: 1 de julio de 2026).

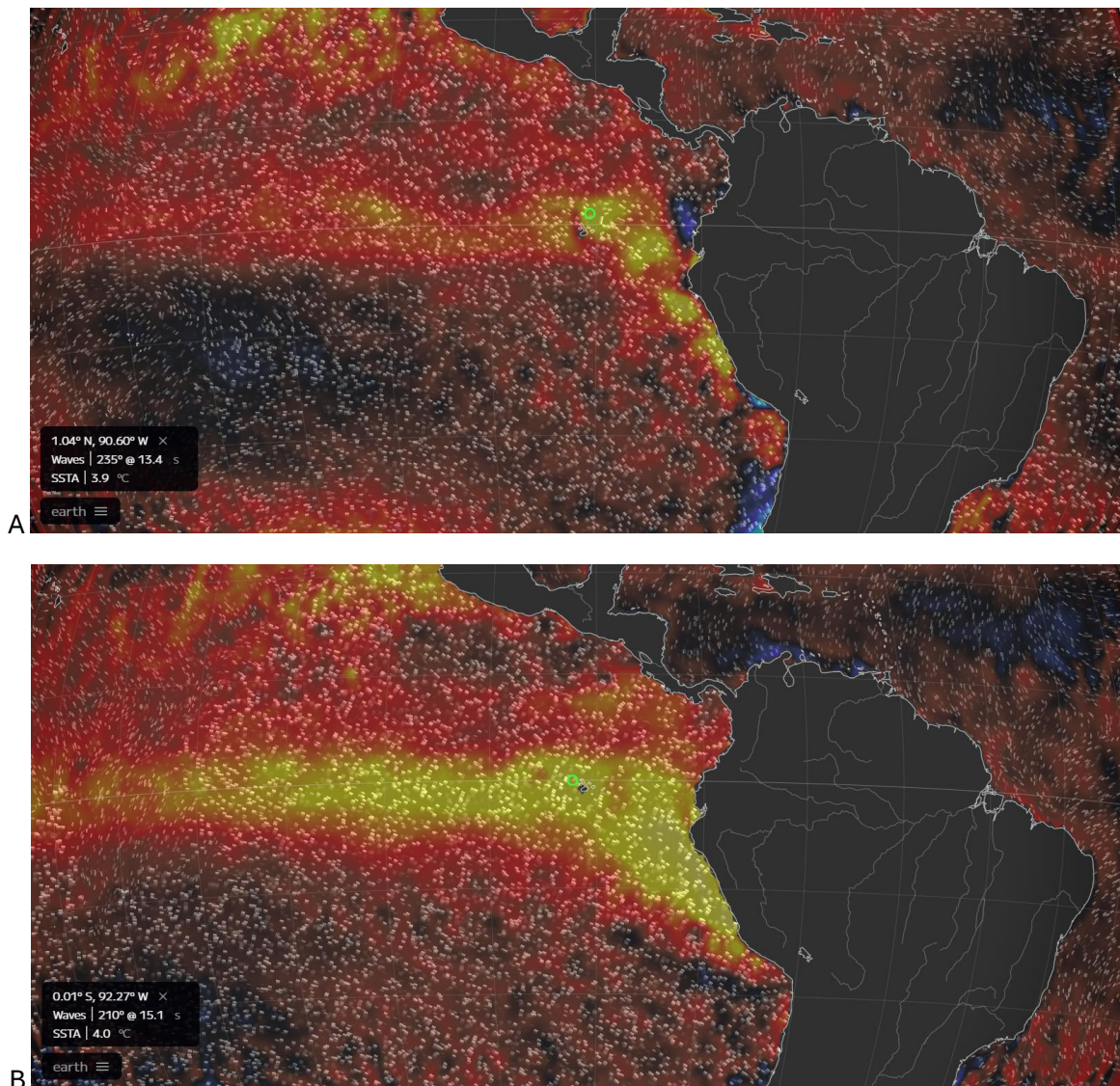


FIGURA 8. Imagen en tiempo real de las anomalías térmicas de la superficie del mar en zona este del Pacífico tropical, en la costa oeste de Sur América. Accedido: A) 13 de mayo de 2026; B) 1 de julio de 2026. Fuente: https://earth.nullschool.net/#current/ocean/primary/waves/overlay=sea_surface_temp_anomaly/orthographic=-91.89,-4.38,894/loc=-83.649,-2.865

Un análisis similar de los patrones en tiempo real de las temperaturas del mar evidenciaba durante que durante mayo de 2026 se apreciaba ya una anomalía térmica positiva generalizada a través del Golfo de México entre +0.5 y +3°C, y de neutralidad a +1.0°C a través de la mayoría del resto del Caribe (Figura 9a). Dicho patrón se ha sostenido básicamente sin cambios a través del Golfo y del Caribe, donde inclusive zonas extensas cercanas a la costa norte de América del Sur evidencian anomalías térmicas negativas (Figura 9b).

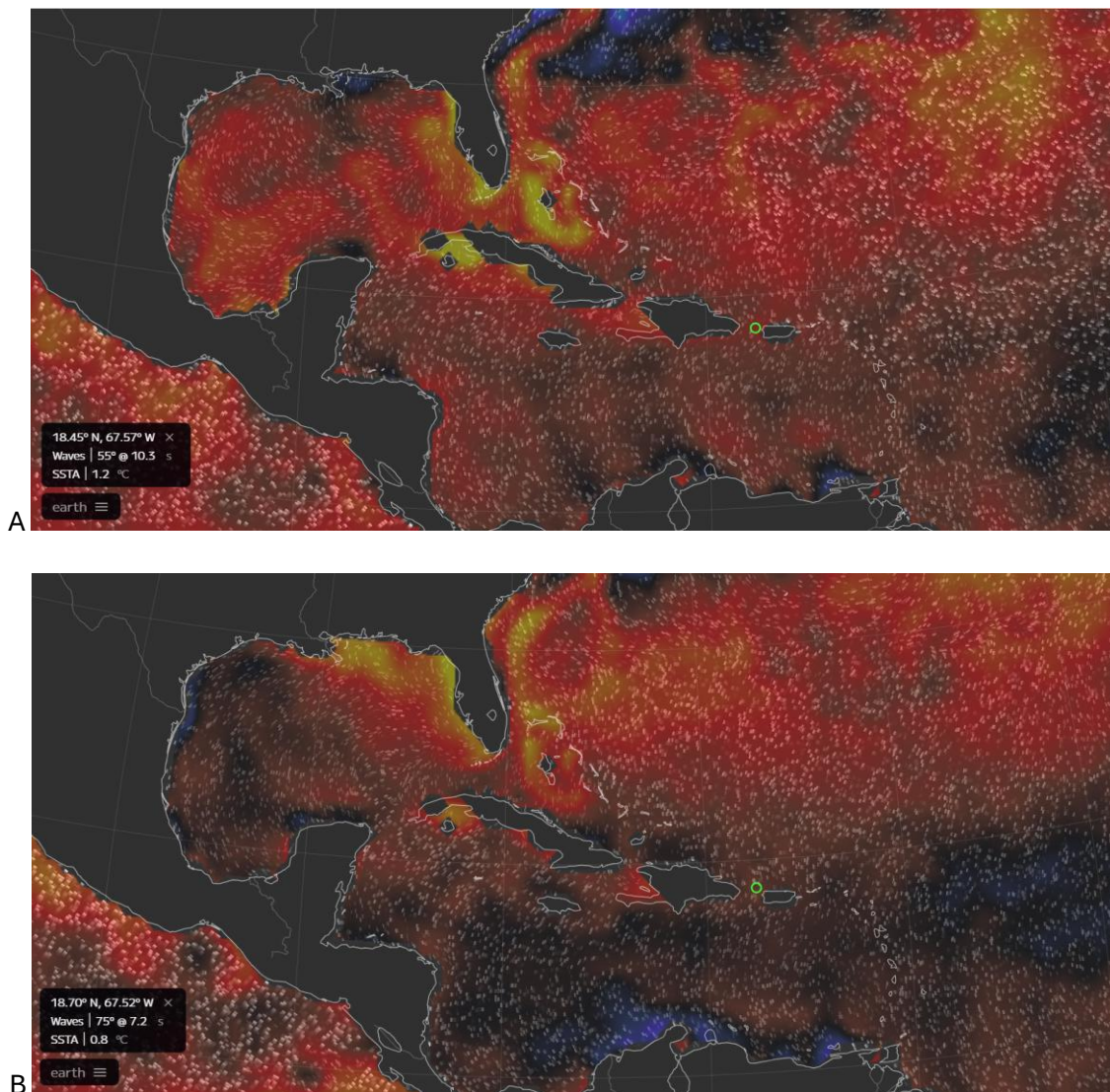


FIGURA 9. Imagen en tiempo real de las anomalías térmicas de la superficie del mar en zona del Caribe. Accedido: A) 13 de mayo de 2026; B) 1 de julio de 2026. Fuente: https://earth.nullschool.net/#current/ocean/primary/waves/overlay=sea_surface_temp_anomaly/orthographic=-76.54,19.90,1797/loc=-65.389,18.208

A mediados de mayo de 2026 las temperaturas superficiales del mar en mayo de 2026 en el este del Pacífico presentaban temperaturas superficiales de 27 a 31°C, mientras que el Caribe centroamericano mostraba temperaturas de 28 a 29°C (Figura 10a). La Figura 10b evidencia condiciones muy similares en junio a través del este del Pacífico, aunque de más expansión espacial. También, se observa una expansión espacial del calentamiento del agua en Caribe mexicano y América Central. Estas tendencias sugieren el desarrollo rápido de condiciones de El Niño en la zona. Además, se observa claramente la extensión espacial sostenida de una ola significativa de calor marino al oeste de México y de Baja California (Figuras 11a,b).

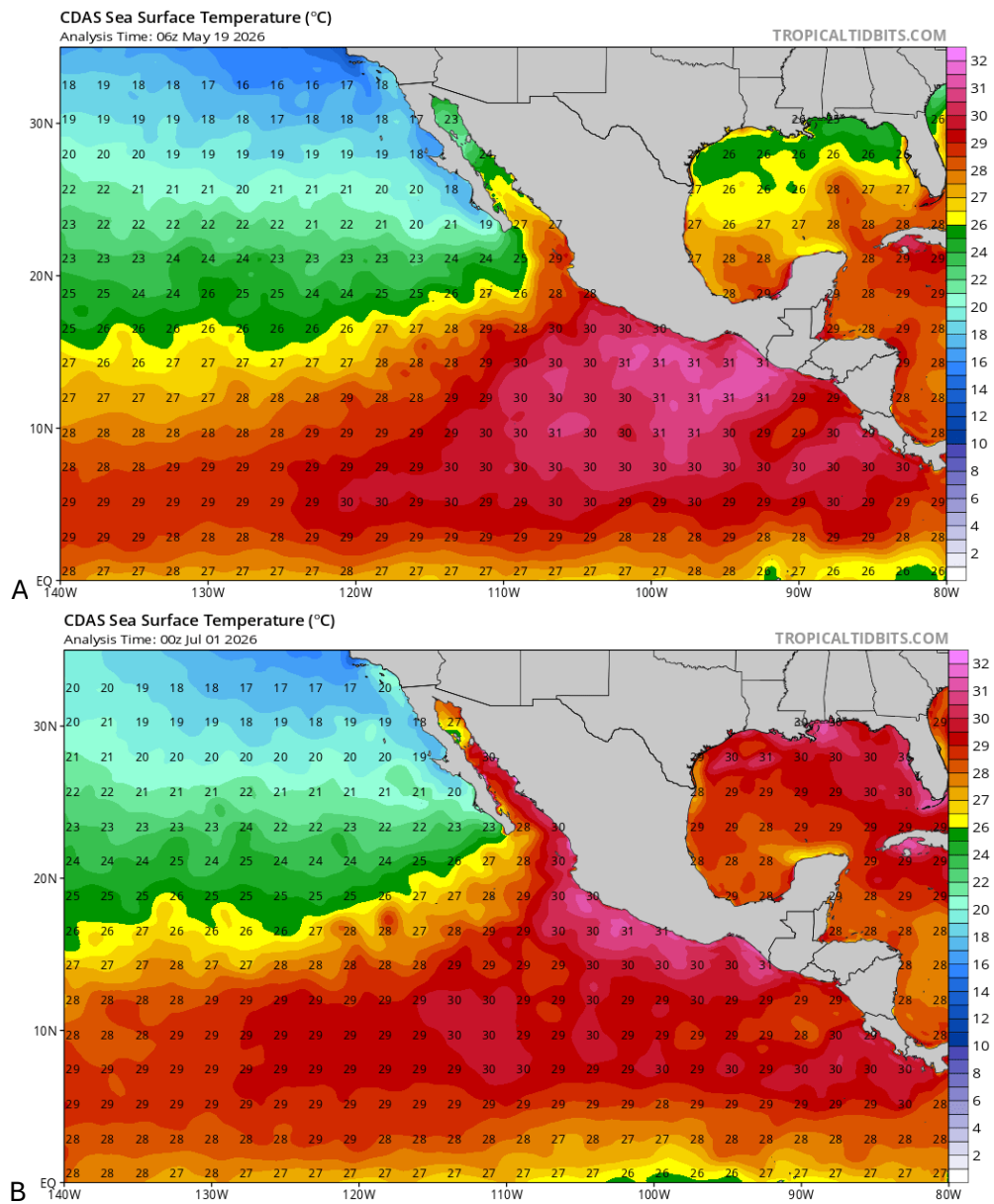


FIGURA 10. Patrones de distribución de temperaturas superficiales del mar en el este del Pacífico tropical. Accedido: A) 19 de mayo de 2026; B) 1 de julio de 2026. Fuente: https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/cdas-sflux_sst_epac_1.png

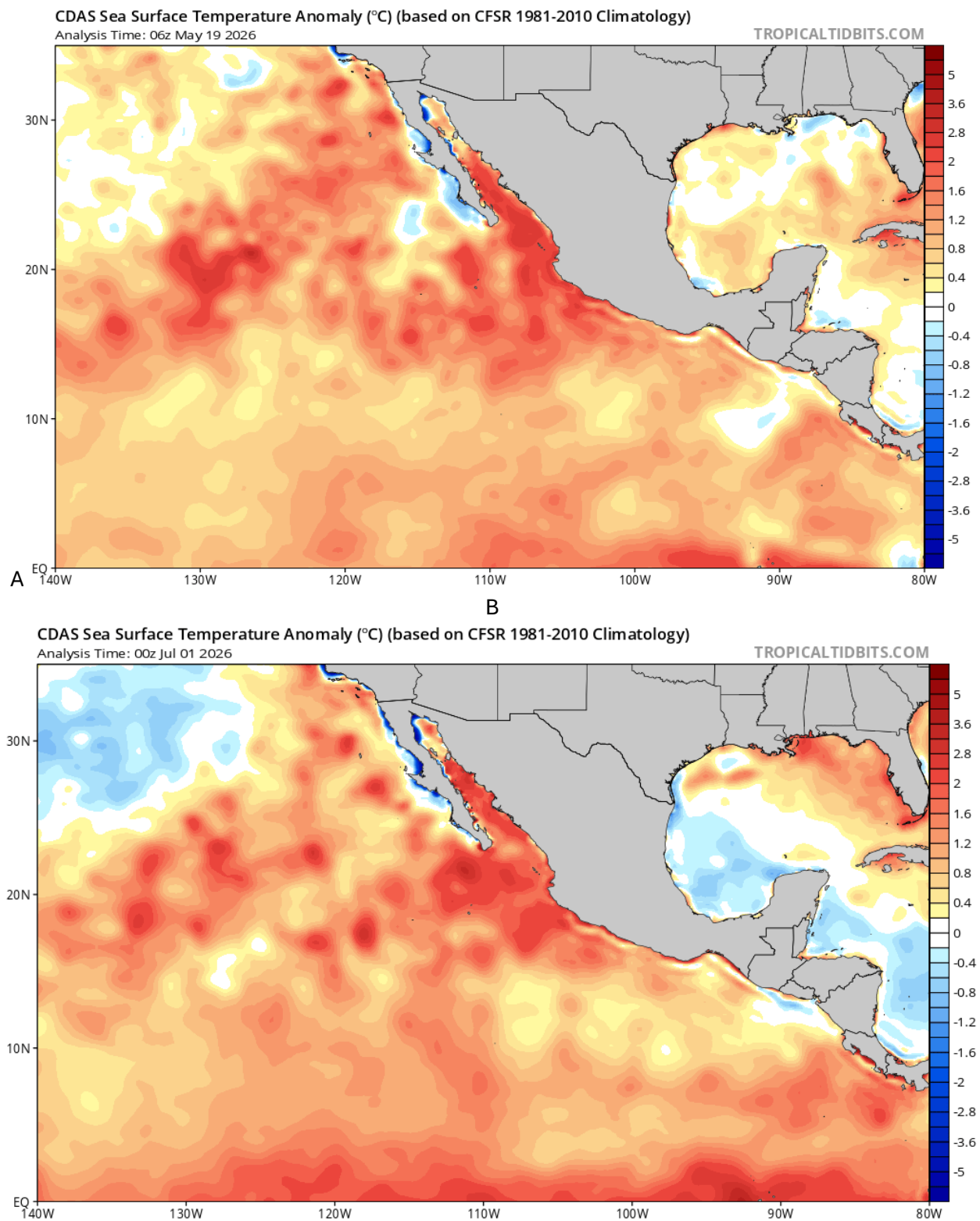


FIGURA 11. Patrones de distribución de las anomalías térmicas en la superficie del mar en el este del Pacífico tropical. Accedido: A) 19 de mayo de 2026; B) 1 de julio de 2026. Fuente: https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/cdas-sflux_ssta_epac_1.png

En mayo de 2026 el Golfo de México aún mantenía temperaturas frescas de 25 a 28°C, mientras que el Caribe se encontraba entre temperaturas de 27 a 29°C, con una pequeña zona al sur de Cuba ya alcanzando 30°C (Figura 12a). Sin embargo, a final de junio la zona del Golfo de México evidenciaba temperaturas de 28 a 31°C, mientras que el oeste del Caribe presentaba 27 a 31°C y el este del Caribe de 27 a 29 °C (Figura 12b). Las Figuras 13a y 13b evidencian igualmente un gran contraste entre las anomalías térmicas regionales del Golfo de México y el Caribe entre mayo y junio de 2026. Sin embargo, resulta preocupante la extensión espacial de una extensa ola de calor marino permanente desde el centro del Atlántico hacia el oeste del Caribe. Sin embargo, el centro del Caribe evidencia anomalías térmicas negativas, las cuales se extienden hacia aguas del Atlántico tropical al este de las Antillas Menores. Esto mantiene, por el momento en un nivel seguro el riesgo regional de posible blanqueamiento de corales.

V. Evidencia documental de las olas de calor marino

Una **ola de calor marino** es un período prolongado de temperaturas del agua inusualmente cálidas en una región oceánica específica, usualmente excediendo 1°C o más sobre el promedio histórico en cualquier momento determinado en cualquier localidad. Es un fenómeno natural que puede ocurrir como resultado de varios factores, como los cambios en la circulación del viento y las condiciones atmosféricas, en la circulación de las corrientes oceánicas, y debido la influencia de patrones climáticos como El Niño. Las olas de calor marino pueden tener impactos significativos en los ecosistemas marinos, incluidos los siguientes:

Cambios en la distribución de algunas especies: las olas de calor marino pueden hacer que algunas especies marinas cambien su distribución a aguas más frías, lo que puede afectar su supervivencia, reproducción e interacciones con otras especies.

Blanqueamiento y mortandad de los corales: las altas temperaturas del agua durante períodos prolongados pueden provocar el blanqueamiento de los corales, un fenómeno en el que los corales expulsan las algas simbióticas que les proporcionan su color vibrante, sus nutrientes, le ayudan en su calcificación y les proporcionan parte del oxígeno que respiran. El blanqueamiento de corales puede tener graves consecuencias para los arrecifes de coral y los diversos ecosistemas que dependen de ellos, sobre todo luego de períodos prolongados de calentamiento, resultado en mortandades masivas de corales, afectando adversamente nuestra economía.

Floraciones de algas nocivas: las olas de calor marino también pueden promover el crecimiento de floraciones de algas nocivas (“harmful algal blooms”, o HABs, por sus siglas en inglés) y de cianobacterias, que pueden producir toxinas o acabar con el oxígeno disuelto en el agua que pueden dañar la vida marina y afectar a los seres humanos que consumen mariscos contaminados o que se exponen al contacto con las aguas costeras afectadas.

Cambios en la productividad de los océanos: las olas de calor marino pueden afectar la productividad de los océanos al contribuir a alterar la cantidad de nutrientes disponibles y el oxígeno disuelto para los organismos marino al limitar o impedir la mezcla de diversas capas de agua en el mar debido al aumento en la estratificación térmica y por densidad, lo que puede afectar las redes alimentarias y la pesca.

Impactos socioeconómicos: las olas de calor marino pueden tener impactos socioeconómicos significativos en las industrias que dependen de los ecosistemas marinos saludables, como la pesca, el turismo y la recreación.

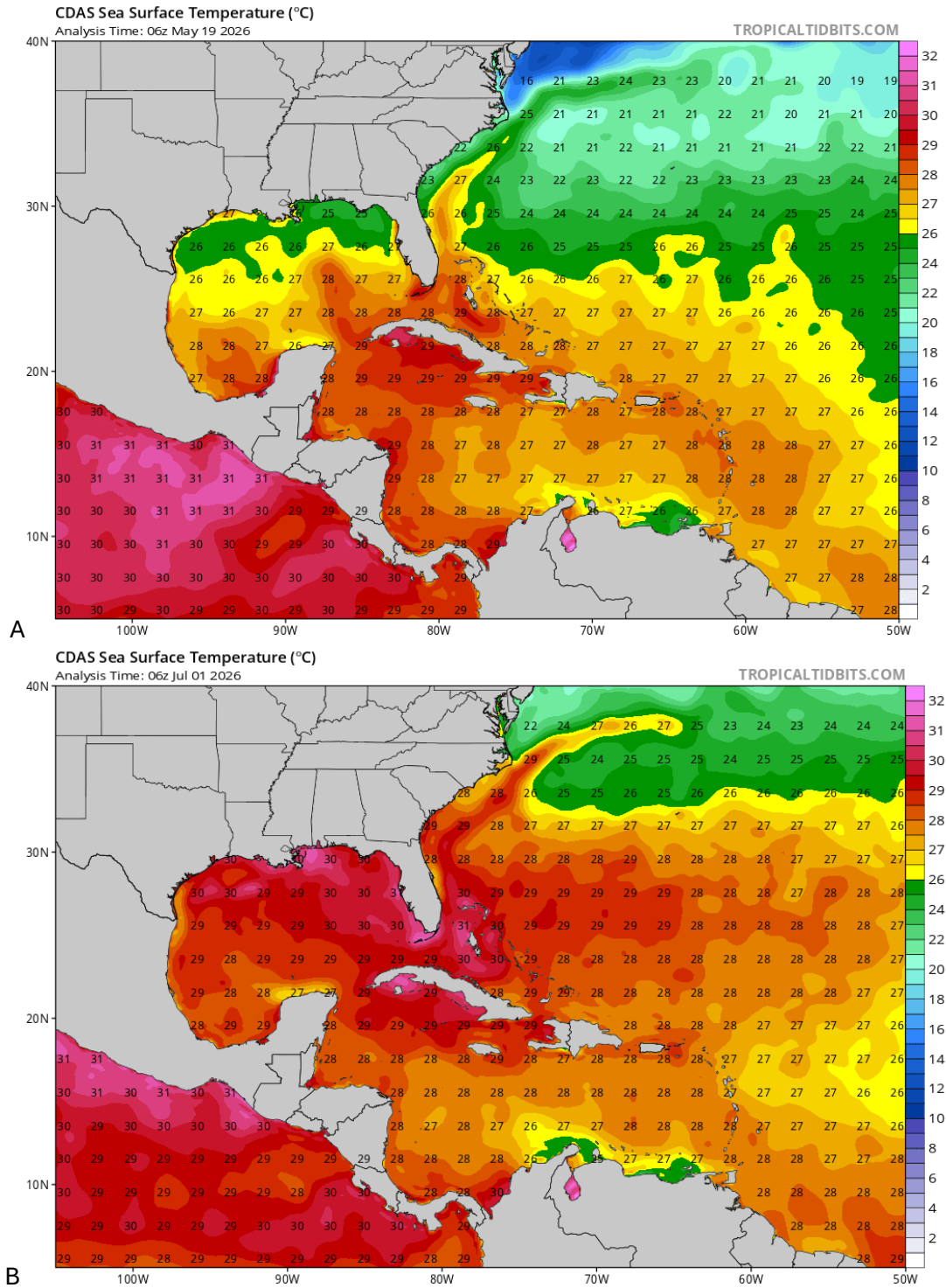


FIGURA 12. Patrones de distribución de temperaturas superficiales del mar a través del Mar Caribe. Accedido: A) 19 de mayo de 2026; B) 1 de julio de 2026. Fuente: https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/cdas-sflux_sst_watl_1.png

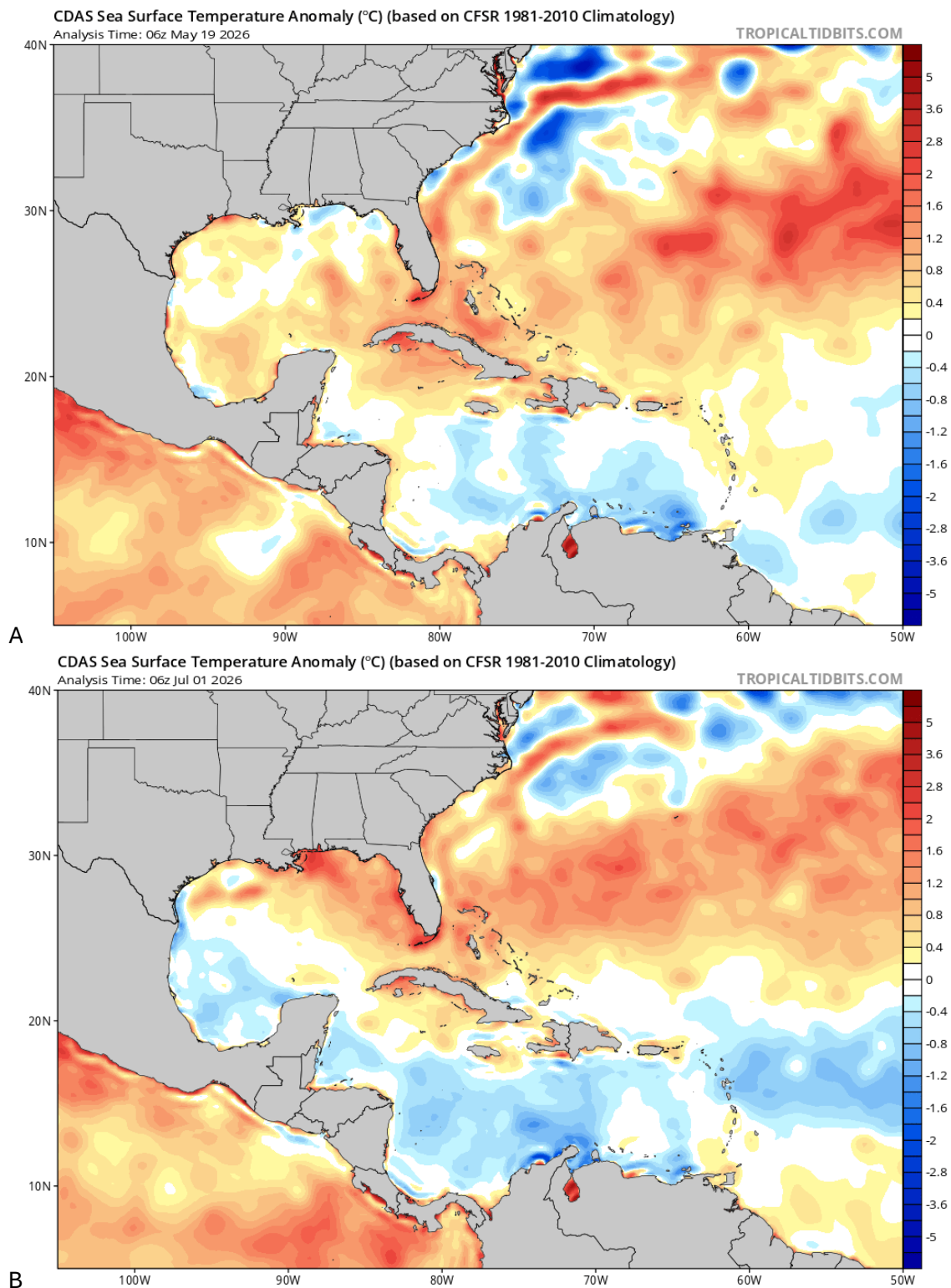


FIGURA 13. Patrones de distribución de las anomalías térmicas en la superficie del mar a través del Mar Caribe. Accedido: A) 19 de mayo de 2026; B) 1 de julio de 2026. Fuente: https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/cdas-sflux_ssta_watl_1.png

Los impactos de las olas de calor marino pueden variar según su intensidad, duración y ubicación. Es fundamental monitorear y estudiar este tipo de fenómenos para comprender mejor sus impactos en los ecosistemas marinos y los servicios que brindan a las comunidades humanas. En toda la región noreste del Caribe, incluyendo a Puerto Rico, nos enfrentamos durante el 2023 y el 2024 a una ola prolongada y significativa de calor marino casi de forma continua, sin haber estado preparados apropiadamente para estudiar su posible impacto. Durante el 2025 se repitió el fenómeno, pero con menor severidad. Pero durante el 2026 desde los primeros meses del año se ha notado el desarrollo gradual de varias zonas significativas de olas de calor marino alrededor del planeta, resultado la más notable la del Pacífico tropical marcando las etapas tempranas del desarrollo rápido del fenómeno de El Niño. Igualmente, destaca la ola de calor marino del Atlántico tropical hacia el oeste del Caribe. Resulta vital comprender mejor sus consecuencias a corto, mediano y largo plazo.

La Figura 14a evidenciaba en mayo de 2026 una extensa ola de calor marino de **nivel de alerta 1 al 3** desarrollándose desde el centro del Atlántico hacia al Caribe y afectando poco más de la mitad de Puerto Rico. Sin embargo, la Figura 14b evidencia a final de junio de 2026 que la extensión y magnitud de dicha ola de calor marina se ha ido reduciendo gradualmente. En dicha imagen se nota cómo se ha reducido el efecto de la ola de calor marino en Puerto Rico. También resulta destacable en ambas imágenes la extensión espacial de la ola de calor marino en desarrollo en el Pacífico tropical, la cual evidencia el desarrollo acelerado de las condiciones de El Niño.

El Coral Reef Watch Program de NOAA (CRWP) clasifica las olas de calor marino en categorías del 0 al 5, cada una indicando la severidad y el potencial impacto en los corales:

- **Nivel 0: Sin Ola de Calor**
 - Temperaturas del agua normales en relación a la climatología regional, sin riesgo para los corales.
- **Nivel 1: Ola de Calor Leve**
 - Temperaturas superiores a la media, pero no se espera un impacto significativo en los corales. Este se considera una señal de alerta temprana que sugiere la necesidad de monitoreo continuo de las temperaturas del mar. Este nivel amerita revisar y comenzar a implementar medidas de manejo para mitigación de impactos.
- **Nivel 2: Ola de Calor Moderada**
 - Temperaturas elevadas que pueden comenzar a causar estrés y blanqueamiento en los corales, dependiendo de la duración del evento, especialmente en las especies más sensibles. Este nivel de alerta amerita la implementación inmediata de estrategias de mitigación de impactos del calor.

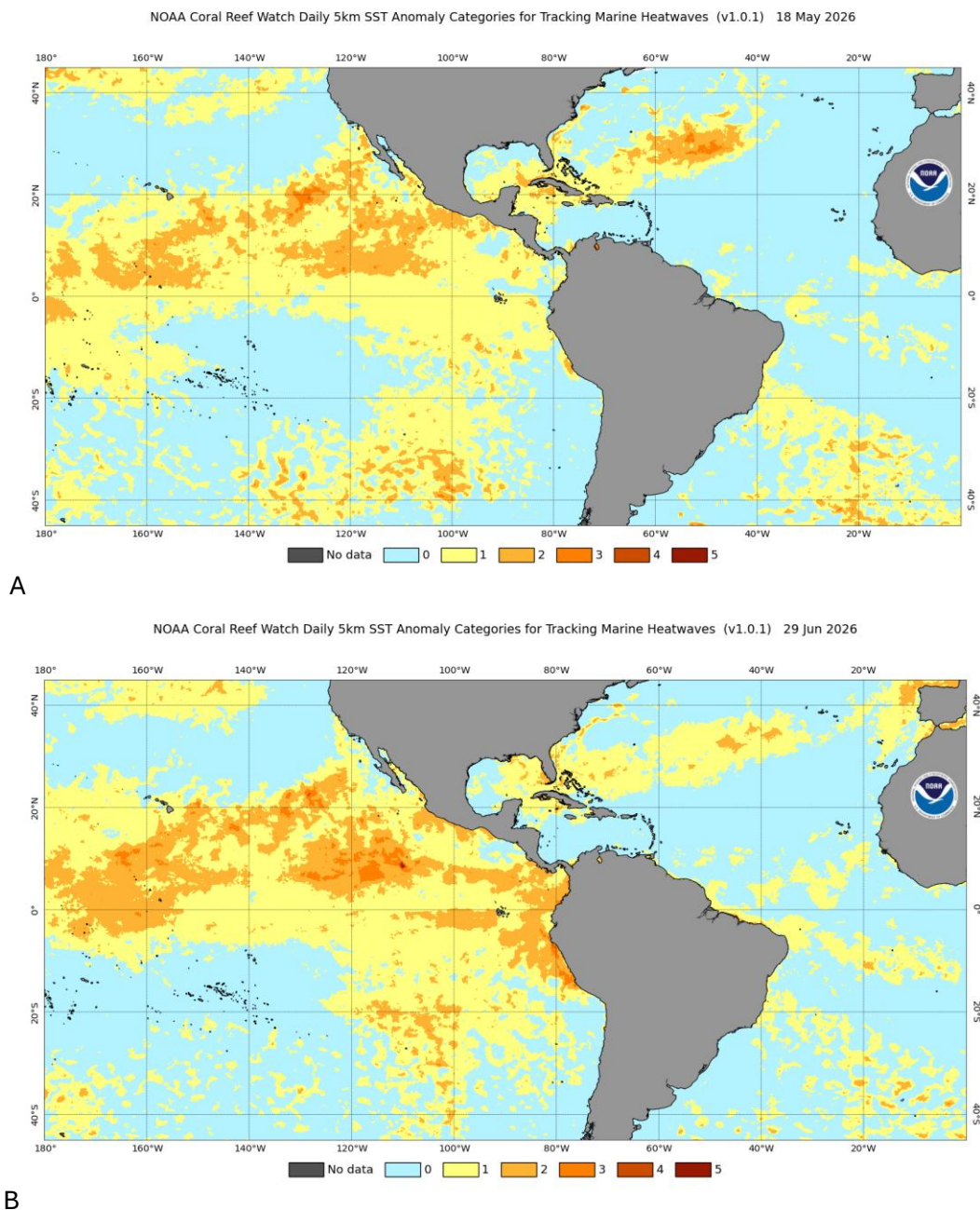


FIGURA 14. Clasificación actual del NOAA Coral Reef Watch Program de la ola de calor marino atravesando la zona del Océano Atlántico. Accedido: A) 19 de mayo de 2026; B) 1 de julio de 2026. Fuente: https://coralreefwatch.noaa.gov/data_current/marine_heatwave/v1.0.1/daily/png/noaa-crw_mhw_v1.0.1_category_west_current.png

- **Nivel 3: Ola de Calor Fuerte**
 - Temperaturas significativamente altas, con un alto riesgo de blanqueamiento coralino, mortalidad de corales y daño a los ecosistemas de coral. Este nivel de alerta amerita la implementación inmediata de estrategias de mitigación de impactos del calor.

- **Nivel 4: Ola de Calor Crítica**
 - Temperaturas extremas que pueden resultar en un blanqueamiento masivo de corales, en gran mortalidad, afectando gravemente la salud de los arrecifes.

- **Nivel 5: Ola de Calor Extrema**
 - Temperaturas muy altas que pueden causar la muerte masiva de corales a través de grandes áreas, llevando a un colapso del ecosistema arrecifal.

Estas categorías ayudan a los científicos y gestores del medio ambiente a monitorear y responder a los cambios en la temperatura del mar, lo que es crucial para la conservación de los ecosistemas de coral. También, el monitoreo continuo de la progresión espacial y temporal de las olas de calor marino a través de las diversas estaciones del año resulta vital para poder anticipar los posibles riesgos de exposición a estrés fisiológico prolongado de los corales y su pre-disposición al blanqueamiento y mortandad durante los períodos de mayor temperatura durante el verano tardío y el otoño.

La Figura 15a muestra el desarrollo y extensión gradual de dicha ola en mayo de 2026, la cual afectaba gran parte de las aguas al norte, oeste y este de Puerto Rico. La Figura 15b muestra como se ha contraído notablemente la extensión en el Caribe de la ola de calor marino, la cual básicamente a final de junio ya no afecta el noreste de la región, incluyendo casi la totalidad de Puerto Rico.

La Figura 16a muestra a mediados de mayo de 2026 aproximadamente el 80% de las aguas alrededor de Puerto Rico se encontraban afectadas por el desarrollo y expansión de otra ola de calor marino de **nivel de alerta 1**, comenzando nuevamente temprano en el año el potencial riesgo de condiciones de blanqueamiento para los corales en Puerto Rico y a través de algunas zonas del Caribe. Sin embargo, en la Figura 16b se observa que solo las aguas costeras del suroeste y el noreste de Puerto Rico son las únicas que manifiestan condiciones de ola de calor marino de **novel de alerta 1**.

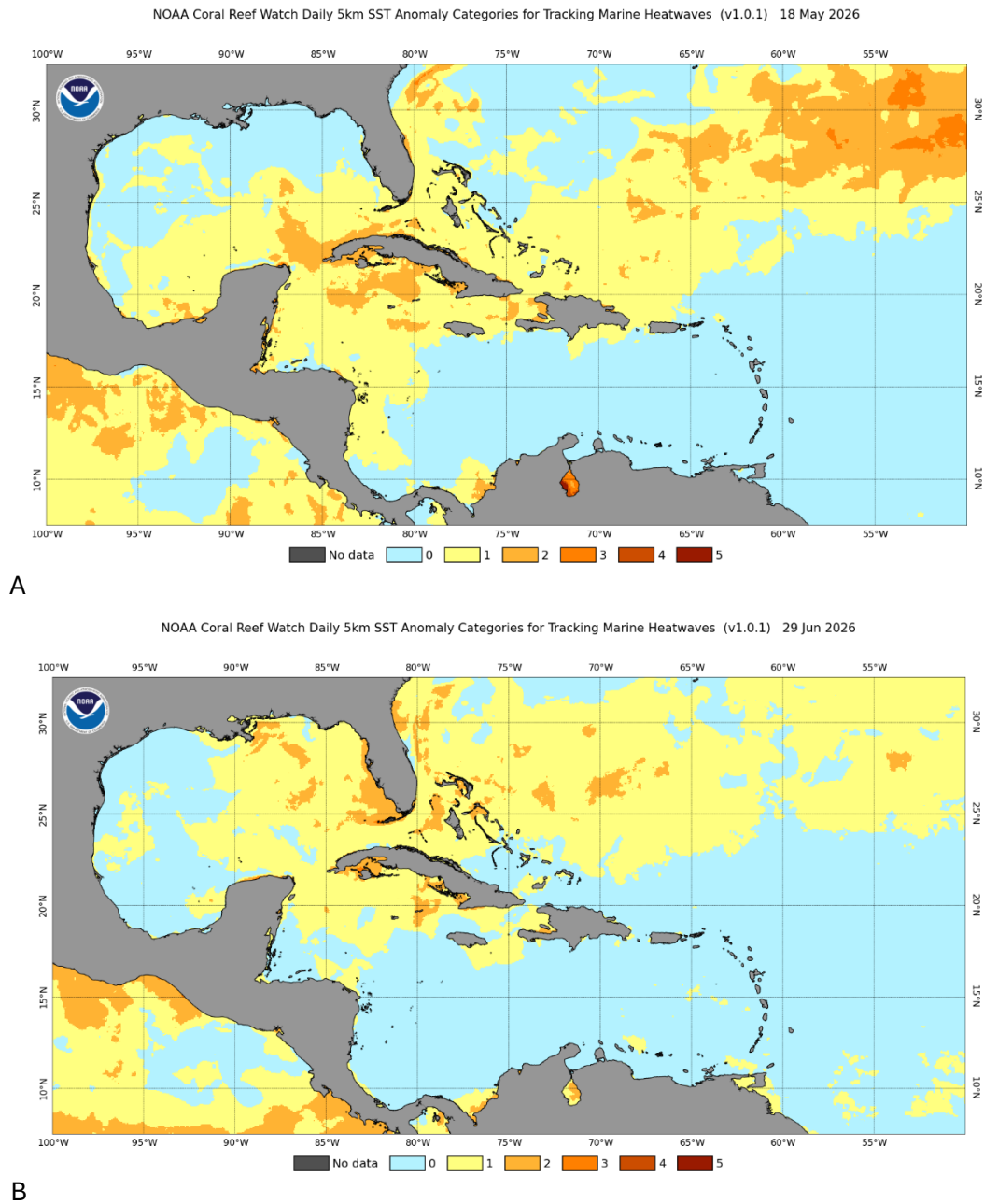


FIGURA 15. Clasificación actual del NOAA Coral Reef Watch Program de la ola de calor marino atravesando la zona del Caribe. Accedido: A) 19 de mayo de 2026; B) 1 de julio de 2026. Fuente: https://coralreefwatch.noaa.gov/data_current/marine_heatwave/v1.0.1/daily/png/noaa-crw_mhw_v1.0.1_category_caribbean_current.png

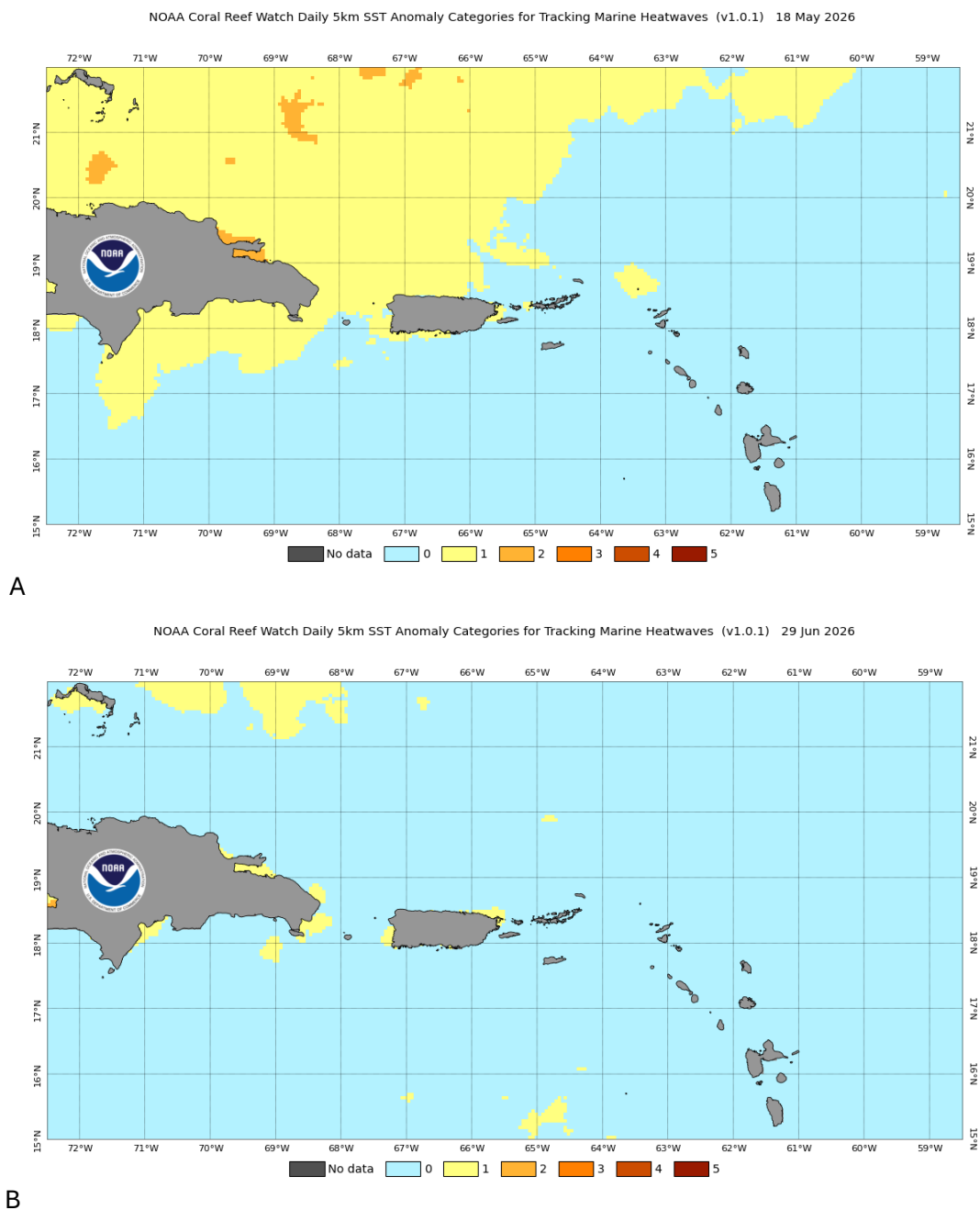


FIGURA 16. Clasificación actual del NOAA Coral Reef Watch Program de la ola de calor marino atravesando la zona de Puerto Rico. Accedido: A) 19 de mayo de 2026; B) 1 de julio de 2026. Fuente: https://coralreefwatch.noaa.gov/data_current/marine_heatwave/v1.0.1/daily/png/noaa-crw_mhw_v1.0.1_category_prusvi_current.png

VI. La evolución rápida de El Niño durante el 2026: Implicaciones para las olas de calor marino del Caribe y el blanqueamiento de corales

El desarrollo de El Niño 2026 podría actuar como un **amplificador climático** de la ola de calor marino que ya se observa en el Atlántico occidental y el Caribe, especialmente si el calentamiento del Pacífico se acopla bien con la atmósfera durante verano–otoño. No sería la única causa, porque el Atlántico ya viene con un “trasfondo térmico” elevado, pero sí podría aumentar la **persistencia, intensidad y expansión espacial** del evento. Al final de junio de 2026, NOAA ya validó el desarrollo de **El Niño** e indica que a partir de julio existe un **100% de probabilidad de continuar durante diciembre 2026–febrero 2027**. También advierte un incremento destacable en la probabilidad de desarrollo de un evento de El Niño super intenso.

Existen varios mecanismos por los cuales El Niño puede intensificar la ola de calor regional del Atlántico. Primero, El Niño puede alterar la **circulación atmosférica tropical**. En el Atlántico y el Caribe, esto puede traducirse en cambios en los vientos alisios, nubosidad, evaporación y mezcla vertical. Si los vientos se debilitan regionalmente, hay menos mezcla de aguas superficiales con aguas más frías de profundidad y menos enfriamiento por evaporación. El resultado es una capa superficial más estable y más cálida. Sin embargo, al presente, el Caribe se mantiene bajo condiciones térmicas neutrales o con anomalías ligeramente negativas.

Segundo, El Niño puede favorecer una reorganización de los **patrones de lluvia y convección tropical**. En algunas fases, esto puede modificar la cobertura de nubes y la radiación solar que llega al océano. Si hay periodos de cielos más despejados sobre sectores del Caribe, aumenta el calentamiento superficial.

Tercero, el efecto de El Niño no necesariamente aparece de forma instantánea en el Caribe. El Coral Reef Watch Program de NOAA (CRWP) ha señalado que, históricamente, el calentamiento de blanqueamiento en el **Atlántico occidental/Golfo/Caribe** suele observarse más comúnmente en el **año posterior al inicio de un El Niño**; durante el evento 1997–1998, el estrés térmico más alto en el Golfo y Caribe culminó entre **julio y octubre de 1998**. Por eso, el riesgo no debe evaluarse solo para las próximas semanas. El periodo crítico sería **verano–otoño de 2026**, con una probabilidad de 100% de formación e intensificación con efectos acumulados hacia finales de 2026 e incluso 2027.

Estas condiciones presuponen un incremento notable en el riesgo ecológico para los arrecifes de coral y otros ecosistemas marinos. Para los arrecifes de coral, el peligro no es solo la temperatura máxima, sino la **duración acumulada del estrés térmico**. El indicador clave es el **Degree Heating Weeks, DHW**, que combina intensidad y duración del calor sobre el umbral de blanqueamiento. Un DHW de 4 ya se asocia con blanqueamiento sustancial, mientras que valores sobre 8 indican alta probabilidad de blanqueamiento severo y mortalidad de especies sensibles.

Si la ola de calor marina se intensifica temprano en la temporada, los corales entrarían al pico térmico del verano con estrés acumulado. Eso aumentaría el riesgo de:

- blanqueamiento coralino más temprano;
- mortalidad en colonias restauradas y silvestres;
- pérdida de tejido vivo en especies sensibles como *Acropora palmata* y *A. cervicornis*;
- mayor susceptibilidad a enfermedades;
- reducción de crecimiento, reproducción y reclutamiento;
- cambios en composición bentónica, con ventaja para las macroalgas, cianobacterias u organismos oportunistas.

La NOAA también documenta que las olas de calor marinas pueden afectar el metabolismo, crecimiento, salud, supervivencia y distribución de especies, y que organismos con poca capacidad de desplazamiento, como los corales y las hierbas marinas, son particularmente vulnerables.

Para el Caribe, el pronóstico del posible impacto de EL Niño durante el 2026 no es alentador. **El Niño podría convertir una anomalía cálida regional en un evento de estrés térmico más persistente, amplio y ecológicamente peligroso.** El riesgo aumenta porque el Atlántico ya muestra calor acumulado, y porque las olas de calor marino no necesitan ser extremadamente intensas por pocos días; pueden ser devastadoras si se mantienen varias semanas o meses.

El escenario más preocupante sería una combinación de:

1. Atlántico tropical y Caribe ya cálidos durante el verano;
2. La intensificación rápida de El Niño durante julio-septiembre de 2026;
3. El debilitamiento regional de vientos o menor mezcla superficial;
4. Una baja frecuencia de eventos de enfriamiento (ej. tormentas) que mezclen la columna de agua;
5. Una acumulación progresiva de DHW desde temprano en la temporada.

En ese escenario, la ola de calor podría expandirse espacialmente desde el Atlántico tropical o subtropical hacia el Caribe insular, y no quedarse como parches aislados. También podría aumentar la probabilidad de que el calor superficial penetre más en la columna de agua somera, incrementando el **contenido de calor oceánico**, afectando arrecifes, praderas de hierbas marinas, manglares, lagunas arrecifales y zonas de restauración coralina.

En síntesis, el desarrollo de El Niño representa un **factor de alto riesgo** para la intensificación de la ola de calor marino en el Atlántico occidental y el Caribe, pero no de forma aislada. Su impacto dependerá de cuán fuerte sea el acoplamiento océano-atmósfera, cómo evolucionen los vientos alisios y la nubosidad, y si la región recibe eventos de mezcla o enfriamiento durante el verano.

Dicho de forma más directa: **si El Niño se consolida mientras partes del Atlántico permanecen anormalmente cálidas, aunque el Caribe se mantiene aún normal a final de junio. Sin embargo, dependiendo del grado de desarrollo de ENSO en las próximas semanas, el Caribe podría enfrentar una temporada de estrés térmico marino en los próximos meses, con mayor probabilidad de blanqueamiento coralino severo y efectos ecológicos acumulativos, potencialmente parecidos a los eventos de 2023 y 2024. Al presente a final de junio de 2026, ese no es aun el escenario.**

VII. Patrones globales de la temperatura del mar y la dinámica de El Niño

El índice del Sistema de Asimilación de Datos Climáticos o el “Climate Data Assimilation System” (CDAS, por sus siglas en inglés) para la región de El Niño 1+2 en el Pacífico tropical justo al oeste de América del Sur para final de junio de 2026 mostró una tendencia de incremento notable de condiciones conducentes a El Niño, con una anomalía térmica promedio de +2.8°C (Figura 17).

El índice CDAS es una medida comúnmente utilizada de la fuerza del patrón climático de la circulación del ENSO. Se calcula con base en las anomalías de la temperatura superficial del mar en la región El Niño 3.4 del Océano Pacífico tropical (ver Figura 3), que es un área ubicada entre los 120°W y 170°W de longitud y los 5°N y 5°S de latitud en medio del Océano Pacífico tropical. El índice CDAS se deriva de un análisis de datos atmosféricos y oceánicos globales, incluidas mediciones satelitales, boyas oceánicas y otras fuentes de datos de observación. Se calcula tomando el promedio de las anomalías térmicas en la región Niño 3.4 durante un período de tres meses y comparándolo con la anomalía promedio a largo plazo para el mismo período en la región de interés.

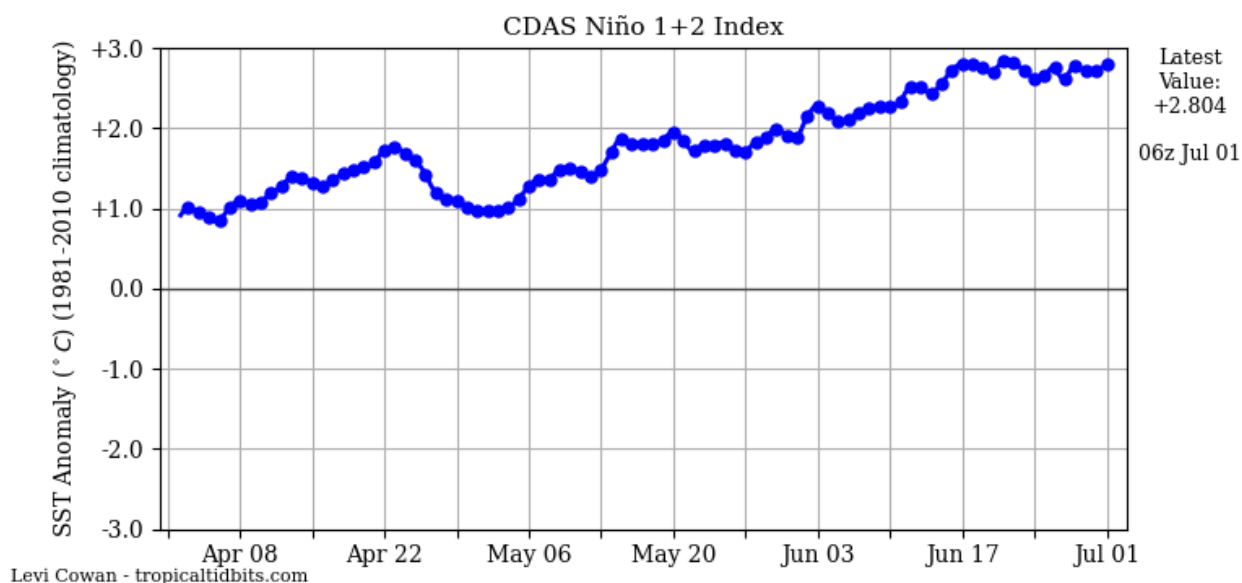


FIGURA 17. Patrones de variación reciente en la anomalía térmica del mar en las regiones 1 y 2 de El Niño a través del Océano Pacífico en la circulación Walker. Fuente: <https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/nino12.png> (accedido: 1 de julio de 2026).

El índice CDAS se aplica en la actualidad a muchas otras zonas de los océanos tropicales del planeta bajo el mismo principio. Cuando las anomalías térmicas en la región de interés superan en más de +0.5°C el promedio a largo plazo durante al menos cinco períodos consecutivos de tres meses, se considera que está ocurriendo un evento de El Niño. La fuerza del evento El Niño está determinada por la magnitud y duración de las anomalías térmicas en la región de interés. En la Figura 17 se evidencia el proceso de intensificación de El Niño.

El índice CDAS se utiliza ampliamente por meteorólogos, climatólogos y otros investigadores para monitorear y predecir los impactos de los eventos de El Niño en los patrones climáticos globales y la variabilidad climática. Es uno de varios índices utilizados para rastrear las condiciones de ENSO y se considera una medida confiable y precisa de la actividad de El Niño.

El índice CDAS para la región de El Niño 3 en la zona justo al oeste de las Islas Galápagos hacia el centro del Pacífico tropical para final de junio de 2026 mostró una anomalía sostenida positiva de +1.55°C, tendiendo hacia el fortalecimiento de El Niño (Figura 18).

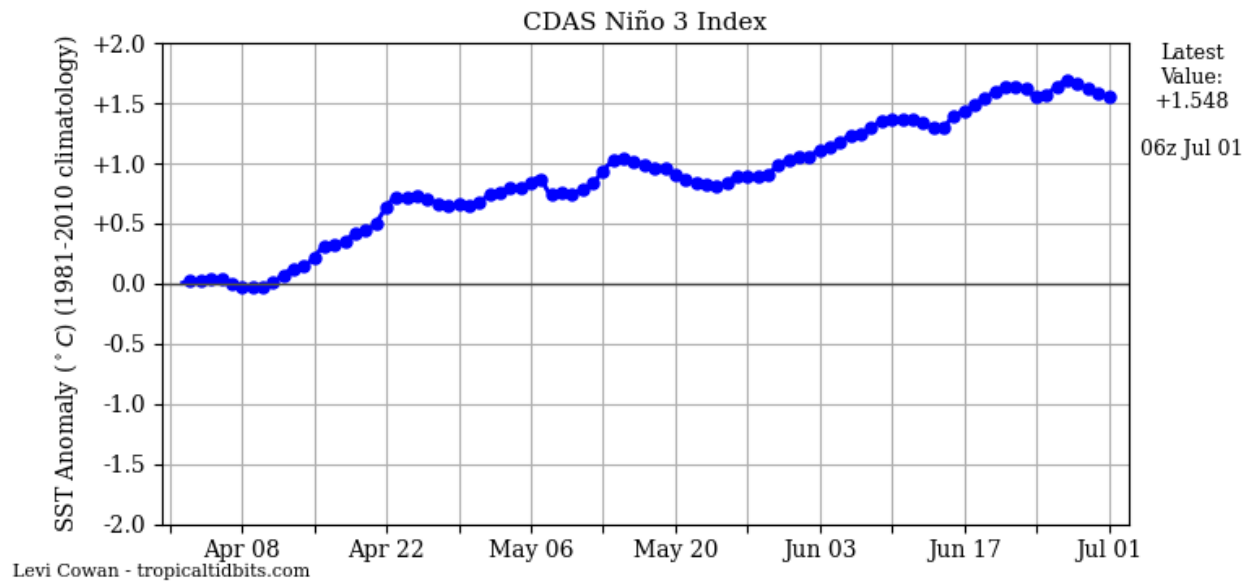


FIGURA 18. Patrones de variación reciente en la anomalía térmica del mar en la región 3 de El Niño a través del Océano Pacífico en la circulación Walker. Fuente: <https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/nino3.png> (accedido: 1 de junio de 2026).

El índice CDAS para la región de El Niño 4 en la zona del centro del Pacífico tropical para el mismo período se mantuvo también con una anomalía positiva, alcanzando $+0.89^{\circ}\text{C}$ durante junio de 2026, típico de condiciones de El Niño. (Figura 19).

Por el contrario, el índice CDAS evidenció para la región del Caribe durante la última semana de junio de 2026 una tendencia de anomalía térmica negativa de -0.28°C , la cual ha descendido por más de 0.60°C desde mediados de mayo (Figura 20). Estas condiciones, por el momento son de neutralidad.

El índice CDAS para la región de las latitudes medias del Océano Atlántico para el mismo período ha mostrado también una anomalía térmica positiva de alrededor $+0.63^{\circ}\text{C}$ durante junio de 2026 (Figura 21), tendencia que sugiere el impacto de El Niño, en amplio contraste con el Caribe aún neutral.

Sin embargo, el índice CDAS para la región del Océano Atlántico tropical del este para el mismo período ha mostrado una tendencia sostenida en la anomalía térmica de -0.70°C (Figura 22).

La región del Océano Atlántico tropical del sur para las primeras dos semanas de abril de 2026 mostró una reducción notable en la anomalía térmica desde valores de $+0.42^{\circ}\text{C}$ hasta un valor de -0.68°C a final de junio (Figura 23).

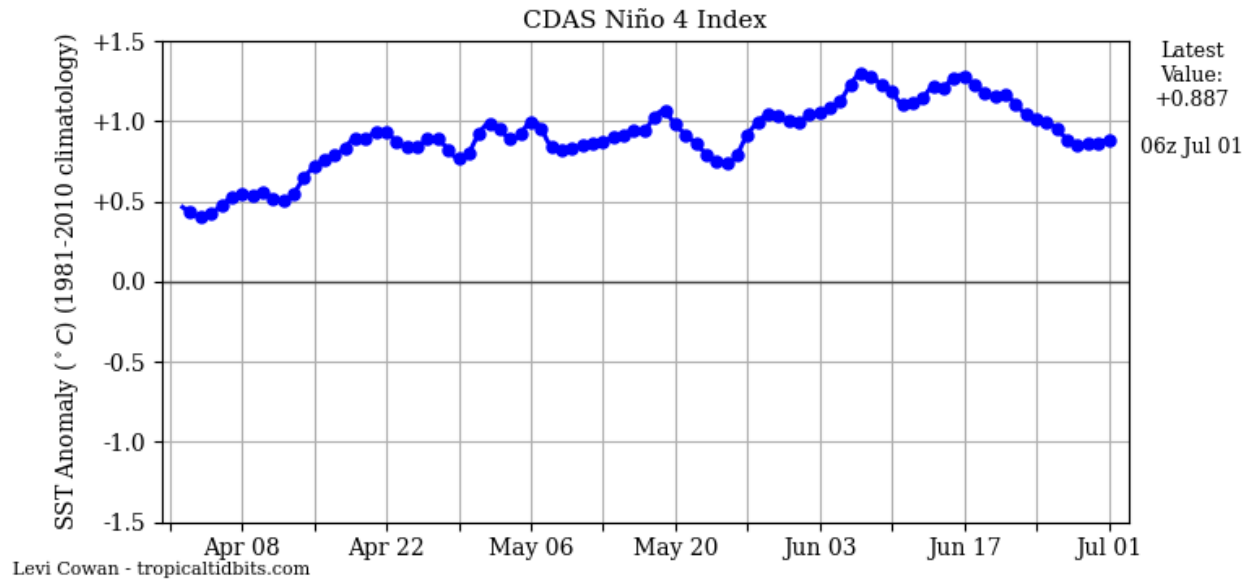


FIGURA 19. Patrones de variación reciente en la anomalía térmica del mar en la región 4 de El Niño a través del Océano Pacífico en la circulación Walker. Fuente: <https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/nino4.png> (accedido: 1 de julio de 2026).

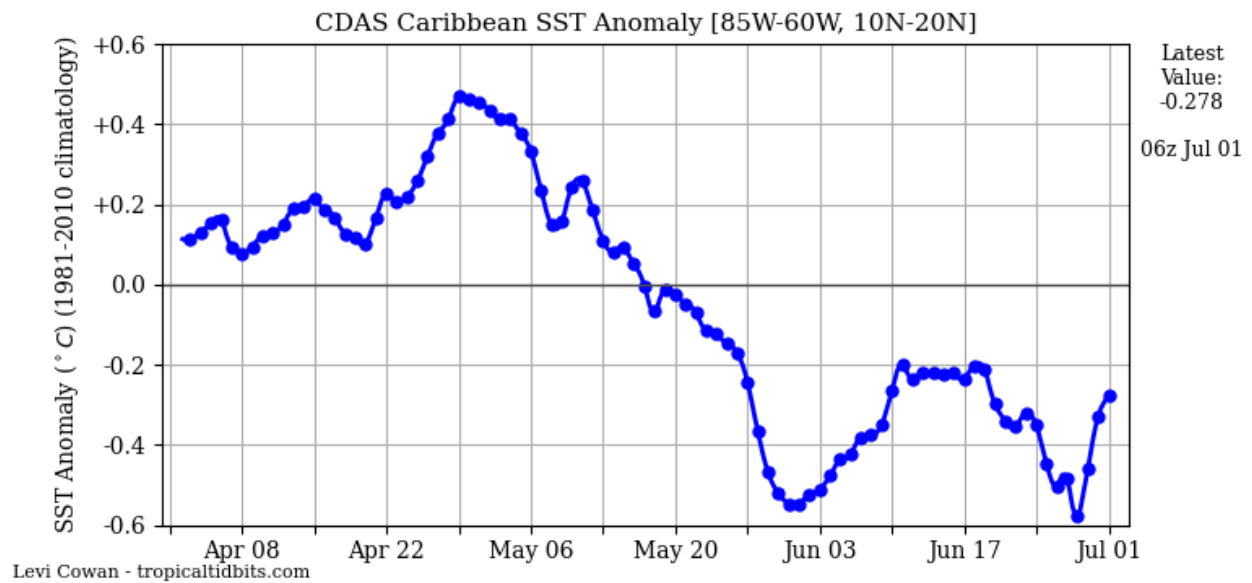


FIGURA 20. Patrones de variación reciente en la anomalía térmica del mar en la región del Mar Caribe. Fuente: <https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/carssta.png> (accedido: 1 de julio de 2026).

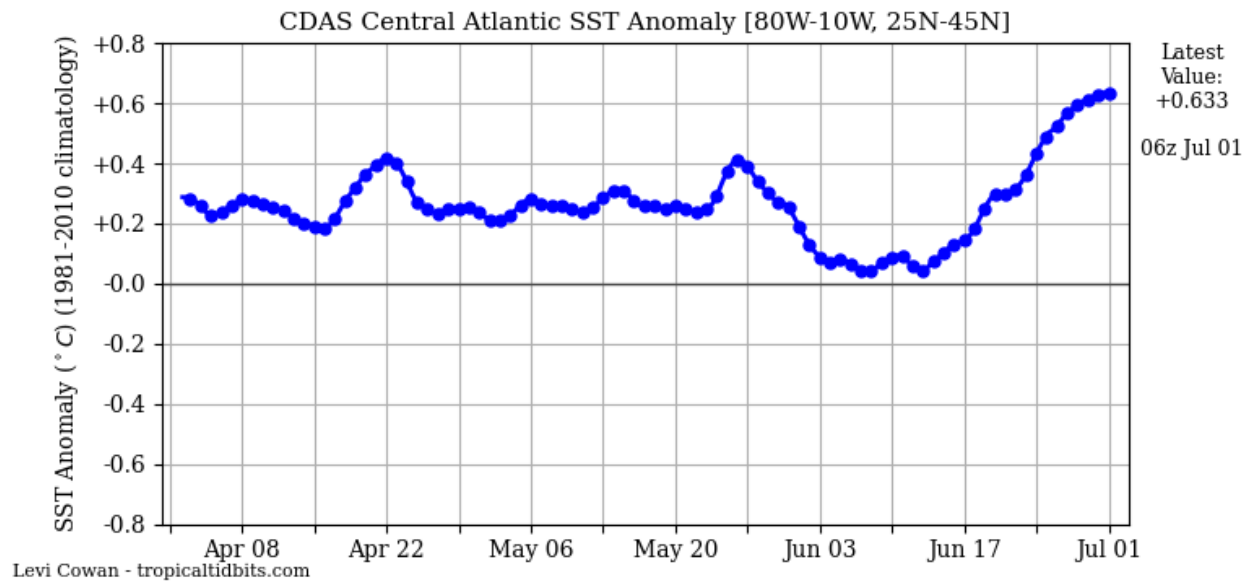


FIGURA 21. Patrones de variación reciente en la anomalía térmica del mar en la región de las latitudes medias del Atlántico norte. Fuente: <https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/catlssta.png> (accedido: 1 de julio de 2026).

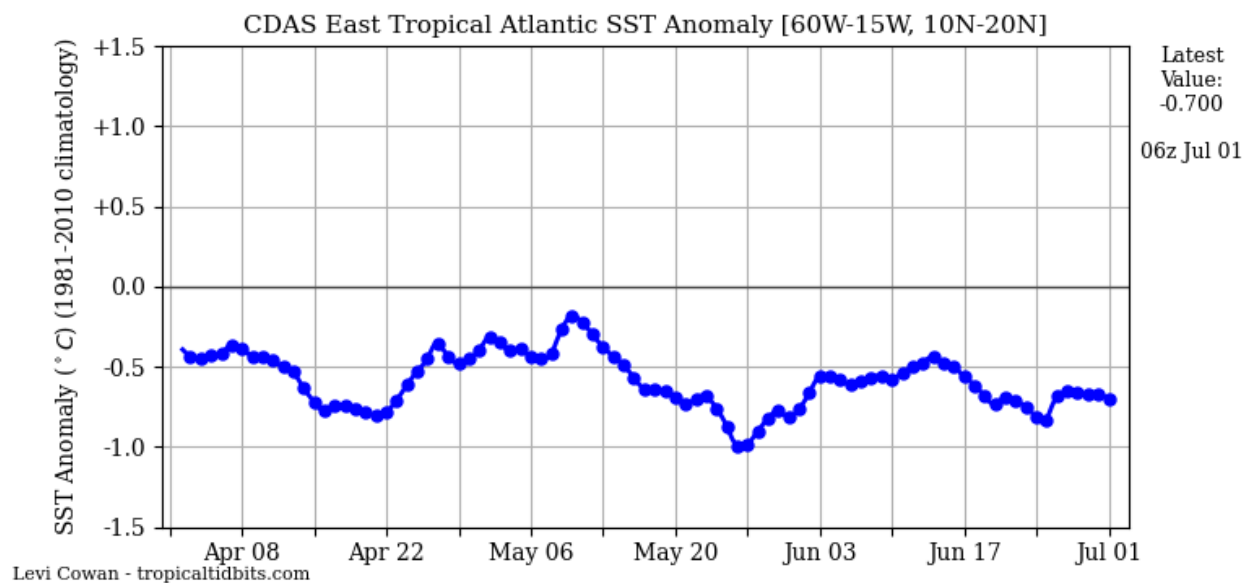


FIGURA 22. Patrones de variación reciente en la anomalía térmica del mar en la región del Atlántico tropical del este. Fuente: <https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/eatlssta.png> (accedido: 1 de julio de 2026).

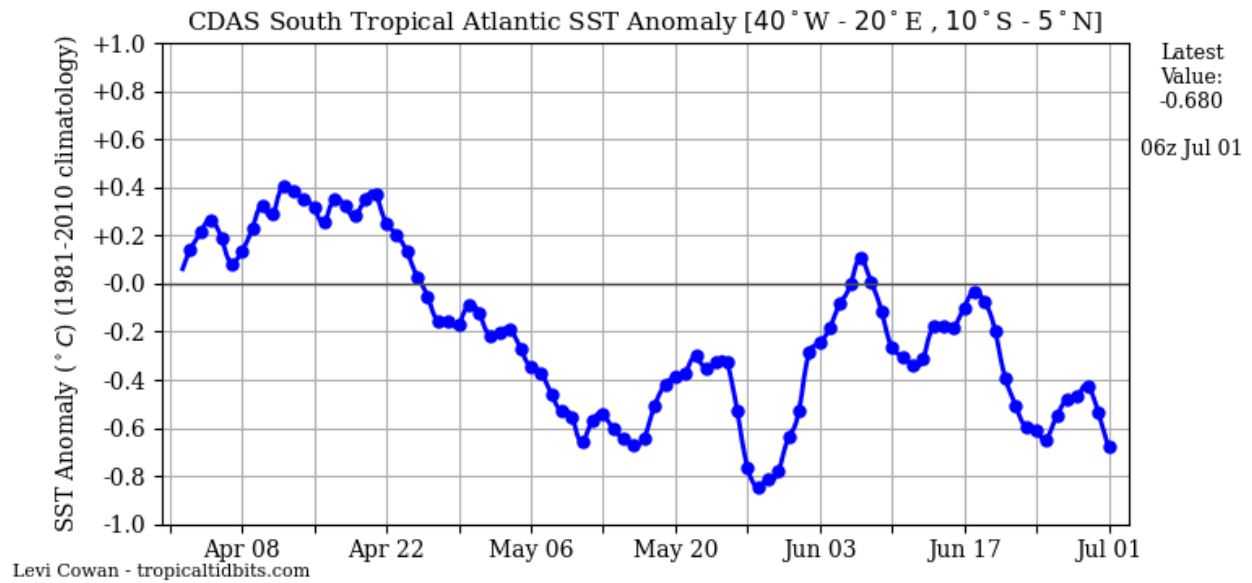


FIGURA 23. Patrones de variación reciente en la anomalía térmica del mar en la región del Atlántico tropical del sur. Fuente: <https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/satlssta.png> (accedido: 1 de julio de 2026).

VIII. Definiciones de las categorías de alertas de blanqueamiento de corales

El Coral Reef Watch Program (CRWP) de NOAA define los diversos niveles de estrés térmico en los océanos en función de los riesgos de blanqueamiento de los corales (Tabla 1). Estos riesgos se definen en función de la elevación de las temperaturas del mar en base a la temperatura media máxima anual establecida para cada región o localidad (en el caso de las estaciones virtuales puntuales) a través de al menos 30 años de información climatológica. Dicha media máxima anual se conoce en inglés como el “maximum monthly mean” o MMM, por sus siglas en inglés. Cuando la temperatura del mar alcanza el MMM o excede por menos de +1°C automáticamente se declara una **vigilancia de blanqueamiento** de corales. Cuando la temperatura del mar alcanza o excede la máxima anual (MMM) por 1°C o más se le conoce como “hot spot” o punto caliente. Por definición, el “Hot Spot”= la diferencia entre la temperatura medida en el mar en determinado momento y la media máxima anual (MMM) y que la exceda por +1°C o más.

TABLA 1. Definiciones de los diversos niveles de estrés térmico en los océanos, según desarrollado por el NOAA Coral Reef Watch Program (CRWP).

Nivel de estrés	Definición	Efecto
No estrés	Hot spot $\leq 0^{\circ}\text{C}$	Ninguno
Vigilancia de blanqueamiento	$0^{\circ}\text{C} < \text{Hot spot} \leq 1^{\circ}\text{C}$	Ninguno
Aviso de blanqueamiento	$1^{\circ}\text{C} \leq \text{Hot Spot}$ y $0 < \text{DHW} < 4$	Posible blanqueamiento
Alerta 1 de blanqueamiento	$1^{\circ}\text{C} \leq \text{Hot Spot}$ and $4 \leq \text{DHW} < 8$	Blanqueamiento significativo probable
Alerta 2 de blanqueamiento	$1^{\circ}\text{C} \leq \text{Hot Spot}$ and $8 \leq \text{DHW} < 12$	Blanqueamiento severo y mortandad significativa
Alerta 3 de blanqueamiento	$1^{\circ}\text{C} \leq \text{Hot Spot}$ and $12 \leq \text{DHW} < 16$	Blanqueamiento muy severo, prolongado y mortandad muy significativa
Alerta 4 de blanqueamiento	$1^{\circ}\text{C} \leq \text{Hot Spot}$ and $16 \leq \text{DHW} < 20$	Blanqueamiento muy severo, prolongado y mortandad catastrófica
Alerta 5 de blanqueamiento	$1^{\circ}\text{C} \leq \text{Hot Spot}$ and $20 \leq \text{DHW} < 24$	Blanqueamiento catastrófico, prolongado, mortandad catastrófica

*Fuente: <https://www.coralreefwatch.noaa.gov/product/5km/methodology.php#dhw> Las categorías de **alertas 3, 4 y 5** son categorías experimentales desarrolladas por NOAA CRWP a partir del blanqueamiento de corales sin precedentes históricos ocurrido durante el 2023.

En la actualidad, NOAA estima el MMM de las aguas de Puerto Rico y esta zona del Caribe es de aproximadamente 28.6°C. Por ende, la temperatura del “Hot Spot” en nuestra región es 29.6°C. Cuando la temperatura medida del mar alcanza el MMM y se mantiene entre 0°C y +1°C por arriba del este se emite una **vigilancia de blanqueamiento** de corales. Esto significa que la temperatura oceánica está acercándose al llamado punto caliente o “Hot Spot”. La **vigilancia** no tiene ningún efecto inmediato sobre los corales, pero presupone que el nivel de estrés por calor ya ha aumentado significativamente.

La emisión de una **vigilancia de blanqueamiento** sugiere la necesidad **urgente** de revisar y completar el repaso de todos los planes para tomar medidas de precaución para minimizar o evitar el impacto de otros posibles factores ambientales humanos en las costas. Y en el caso de los proyectos de restauración y de conservación de corales es **urgente** revisar y completar todos los planes para implementar las precauciones prácticas para minimizar el impacto combinado de la temperatura alta y de la luz solar sobre los corales mediante la implementación de estrategias de sombras en los corales.

Cuando las temperaturas alcanzan o superan el MMM +1°C o más entonces se alcanza el **Hot Spot**, se emite un **aviso de blanqueamiento** de corales y se comienza a contabilizar las semanas consecutivas de temperaturas estresantes para los corales, conocidas como “**Degree Heating Weeks**” (DHWs, por sus siglas en inglés). El **aviso de blanqueamiento** se mantiene mientras DHWs se mantengan entre 0 y 4 semanas. Estas condiciones pueden resultar en un blanqueamiento de corales inminente, en esta etapa usualmente moderado, afectando inicialmente a las especies más vulnerables y a los arrecifes en las aguas más someras.

La emisión de un **aviso de blanqueamiento** sugiere la necesidad **inminente** de comenzar a implementar **inmediatamente** medidas de precaución para minimizar o evitar el impacto de otros posibles factores ambientales humanos en las costas. Y en el caso de los proyectos de restauración y de conservación de corales ya es **inminente** implementar precauciones prácticas para minimizar el impacto combinado de la temperatura alta y de la luz solar sobre los corales. Esto debe incluir medidas como: 1) Establecer mecanismos de crear sombras en las guarderías de corales, corales trasplantados o corales con algún tipo de interés de conservación en particular; 2) Implementar la posible relocalización de guarderías de corales hacia profundidades mayores para reducir la exposición a calor y luz solar; 3) El trasplante de fragmentos representativos de corales de diversas especies y diversidad genética hacia localidades con buena calidad de agua, sujetas a corrientes fuertes y buena circulación marina; 4) La relocalización de fragmentos representativos de diversos clones genéticos de diversas especies hacia guarderías en diversas zonas geográficas de la isla; y 5) La recolección de fragmentos representativos de diversos clones genéticos de corales de diversas especies y su protección en guarderías terrestres (“land-based nurseries”).

Cuando las temperaturas alcanzan o superan el MMM + 1°C, en combinación con una acumulación de DHWs de 4 a 8 semanas, entonces se emite una **alerta 1 de blanqueamiento** de corales. Estas condiciones pueden resultar en un blanqueamiento significativo y extenso de corales, afectando a numerosas especies y arrecifes a diversas profundidades.

Cuando las temperaturas alcanzan o superan el MMM + 1°C, en combinación con una acumulación de DHWs de 8 a 12 semanas, entonces se emite una **alerta 2 de blanqueamiento** de corales. Estas condiciones pueden resultar en un blanqueamiento severo y en una mortandad significativa de corales.

La emisión de una **alerta 1 o 2 de blanqueamiento** sugiere que ya todas las medidas de precaución para minimizar o evitar el impacto de otros posibles factores ambientales humanos en las costas deben estar implementadas. También deben implantarse medidas especiales para minimizar posibles impactos adicionales, como ciertas actividades recreacionales.

Durante el 2023 y el 2024 se desarrollaron a través de muchas partes del mundo, pero con particular efecto en el Caribe, dos eventos de blanqueamiento de corales tan severos y sin precedentes históricos, que la NOAA tuvo que modificar la clasificación de alertas de blanqueamiento de corales para poder documentar con mayor precisión y diferenciar el tipo de impactos observados en los arrecifes de coral. Para ello, cuando las temperaturas alcanzan el MMM + 1°C o más, en combinación con una acumulación de DHWs de 12 a 16 semanas se emite una **alerta 3 de blanqueamiento** de corales. Estas condiciones pueden resultar en un blanqueamiento muy severo, prolongado y en una mortandad significativa de corales. Cuando las temperaturas alcanzan el MMM + 1°C o más, en combinación con una acumulación de DHWs de 16 a 20 semanas se emite una **alerta 4 de blanqueamiento** de corales, mientras que con una acumulación de DHWs de 20 a 24 semanas se emite una **alerta 5 de blanqueamiento** de corales. Estas condiciones pueden resultar en un blanqueamiento muy severo, prolongado y en una mortandad catastrófica de corales. En Puerto Rico en el 2023 se llegó a emitir una **alerta 4 de blanqueamiento** debido a la acumulación récord de 19.20 DHWs. En el 2024 se emitió una **alerta 5 de blanqueamiento**, al alcanzarse 21.25 DHWs.

IX. Evidencia documental de los riesgos de blanqueamiento de corales para Puerto Rico y el Caribe durante el 2026 – Coral Reef Watch Program (NOAA)

El registro de la temperatura superficial del mar en la estación virtual de monitoreo de Puerto Rico, localizada en el Canal de La Mona, evidencia la tendencia de incremento sostenido de temperatura por encima del promedio de la época durante mediados de mayo de 2026 (Figura 24). Esta mostraba entonces una temperatura promedio de 29.22°C, con una anomalía térmica de +1.04°C, lo que equivale a haber superado en junio la temperatura equivalente al **MMM**, o la máxima anual típica de comienzos de octubre. Al momento, ya se observa una acumulación de hot spot de 0.21°C. Aun no se han acumulado semanas consecutivas de calor estresante o Degree Heating Weeks (DHWs). Pero resulta preocupante la anomalía térmica tan temprano en el año, lo que gradualmente va aumentando el estrés en los corales.

Igualmente, la boya de las Islas Vírgenes Americanas, la cual es más representativa de las condiciones al este de Puerto Rico, mostraba una temperatura promedio de 28.54°C, con una anomalía térmica de +0.76°C durante final de junio de 2026 y una acumulación de hot spot de 0.01°C o de DHWs (Figura 25).

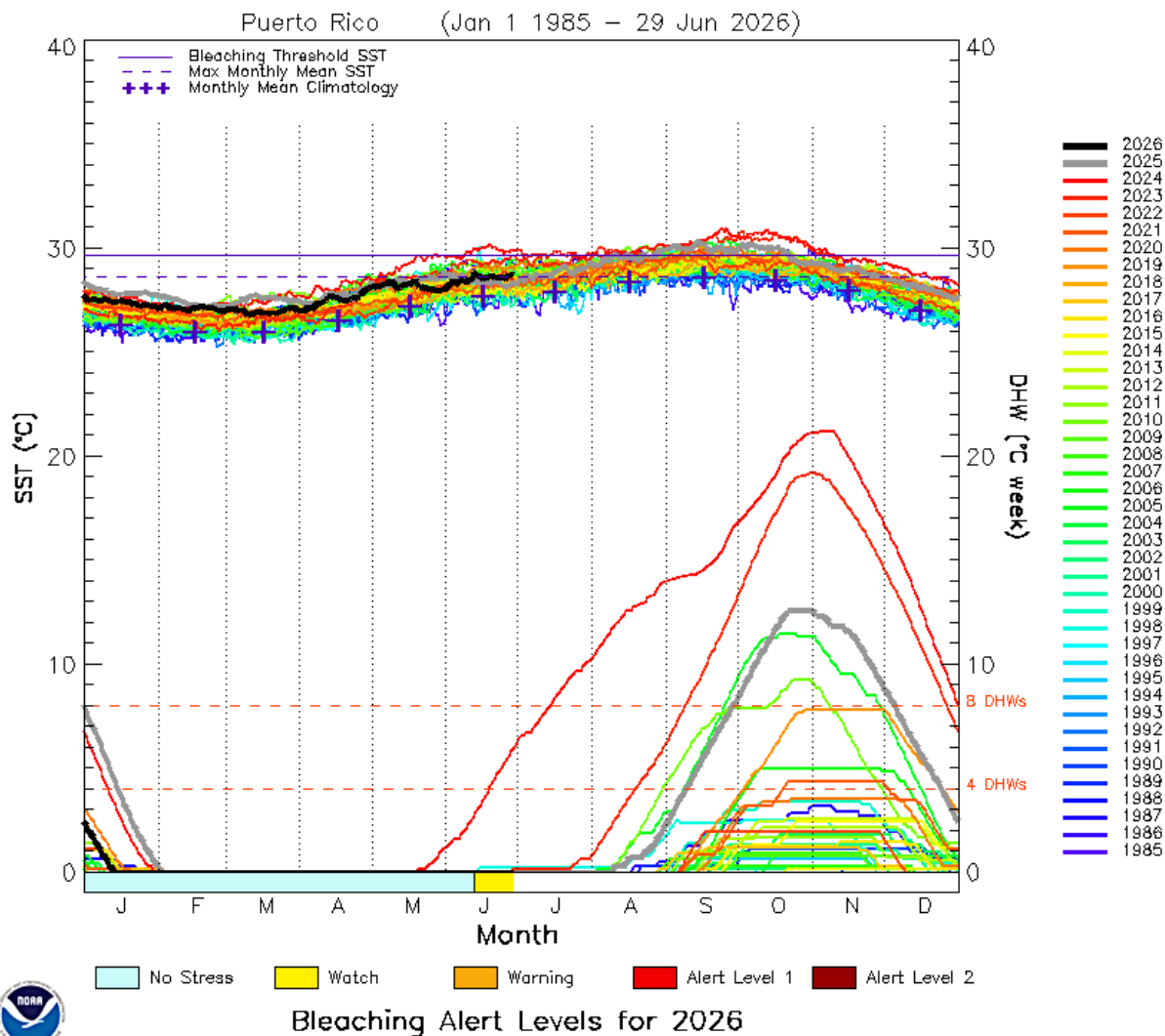


FIGURA 24. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2026) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en Puerto Rico. Fuente: https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs/timeseries/caribbean.php#puerto_rico (accedido: 1 de julio de 2026).

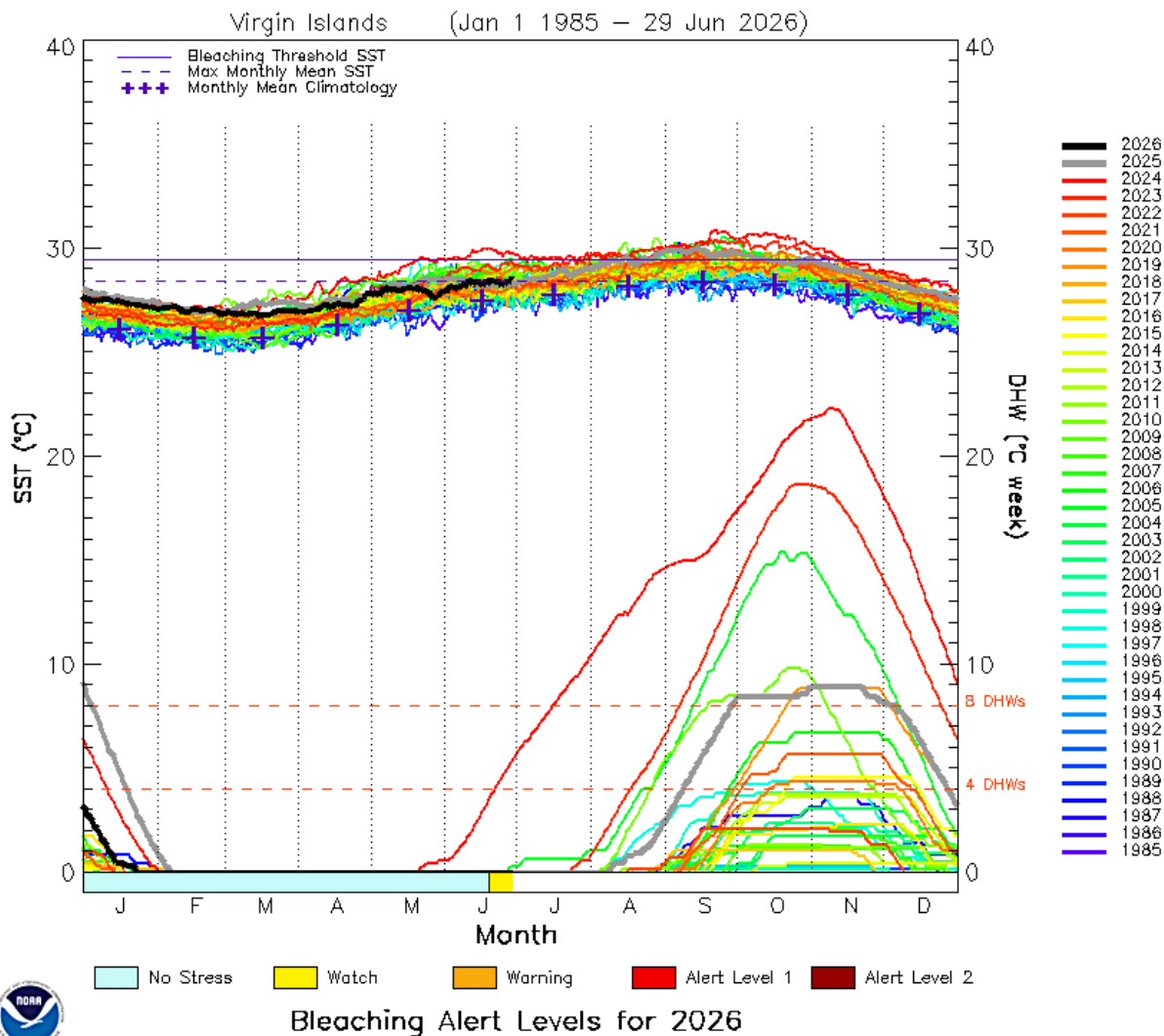


FIGURA 25. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2026) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en las Islas Vírgenes Estadounidenses. Fuente: https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs/timeseries/caribbean.php#virgin_islands (accedido: 1 de julio de 2026).

La Figura 26 ilustra la localización de las nuevas estaciones virtuales de monitoreo de temperatura del mar en Puerto Rico establecidas por el CRWP de NOAA durante el 2023, incluyendo las tres estaciones añadidas durante mayo de 2024. Estas permiten un análisis mucho más fino y detallado de diversas localidades arrecifales representativas en Puerto Rico, permitiendo medir la variabilidad regional.

Durante final de junio de 2026, 10 de las 16 estaciones virtuales de Puerto Rico mostraban ya señales tempranas de estrés térmico estableciéndose una condición de **vigilancia de blanqueamiento** de corales. Las temperaturas promedio fluctuaban entre 28.4 y 29.0°C, mientras que la anomalía térmica fluctuaba entre +0.65 y +1.01°C (Tabla 2). Los hot spots fluctuaron de 0 a 0.18°C.

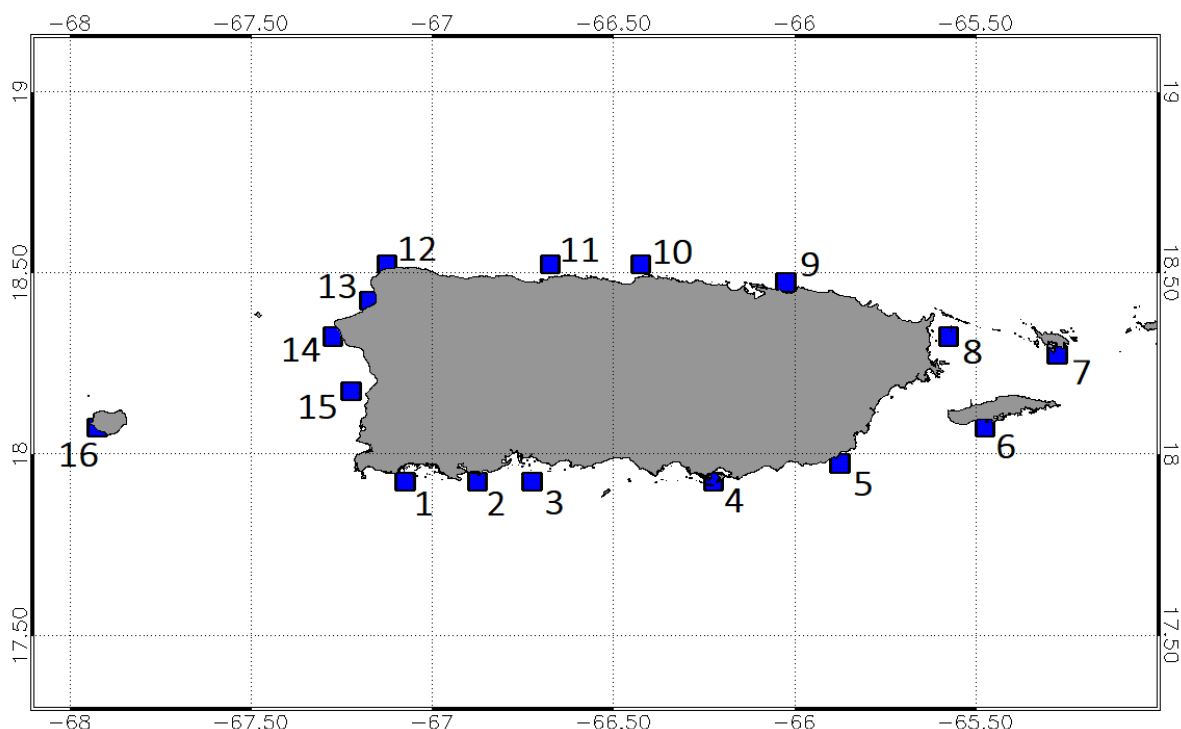


FIGURA 26. A) Estaciones virtuales del NOAA Coral Reef Watch Program en Puerto Rico del nuevo producto experimental de para el monitoreo de la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en estaciones selectas (1. La Parguera; 2. Guánica; 3. Guayanilla; 4. Salinas; 5. Maunabo; 6. Vieques; 7. Culebra; 8. Fajardo, 9. San Juan; 10. Vega Baja; 11. Arecibo; 12. Isabela; 13. Aguadilla; 14. Rincón; 15. Cabo Rojo; 16. Isla de Mona. Fuente: https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php?fbclid=IwAR3pxz6NA-cAKtSUWOT5Q4Yr6JIMxZ6zNBzGF1TiSaCkOGdyanZWMMbZK4k

Las estaciones virtuales también evidenciaron un leve gradiente espacial en la distribución de temperaturas y anomalías térmicas. Por ejemplo, las estaciones virtuales de la costa sur evidenciaban la mayor temperatura promedio del mar a final de junio de 2026 con 28.8°C, seguida de la costa este con 28.6°C (Tabla 2). La mayor anomalía térmica promedio se documentó igualmente en las costas sur y este con +0.94°C y +0.83°C, respectivamente. Se observó una acumulación de puntos calientes (“hot spot”)

mayor en el sur (+0.11°C), seguida del oeste (+0.05°C). No se observa aun acumulación de DHWs, manteniendo el riesgo de estrés térmico en mayo aun a un nivel mínimo.

TABLA 2. Resumen de las temperaturas superficiales del mar, anomalía térmica y condición de riesgos de blanqueamiento de corales en Puerto Rico*.

Localidad	Temp. °C	Temp. A °C	MMM °C	MMM-A °C	Clasificación	DHWs
1 La Parguera	28.90	+0.94	28.78	+0.12	Vigilancia	0
2 Guánica	28.83	+0.94	28.78	+0.11	Vigilancia	0
3 Guayanilla	28.87	+1.01	28.78	+0.18	Vigilancia	0
4 Salinas	28.64	+0.88	28.78	+0.01	Vigilancia	0
5 Maunabo	28.64	+0.90	28.78	+0.06	Vigilancia	0
6 Vieques	28.57	+0.83	28.78	+0.04	Vigilancia	0
7 Culebra	28.44	+0.74	28.78	0.00	No estrés	0
8 Fajardo	28.57	+0.85	28.78	+0.02	Vigilancia	0
9 San Juan	28.45	+0.85	28.78	0.00	No estrés	0
10 Vega Baja	28.43	+0.74	28.78	0.00	No estrés	0
11 Arecibo	28.49	+0.71	28.78	0.00	No estrés	0
12 Isabela	28.68	+0.70	28.78	0.00	No estrés	0
13 Aguadilla	28.71	+0.65	28.78	0.00	No estrés	0
14 Rincón	28.83	+0.68	28.78	+0.01	Vigilancia	0
15 Cabo Rojo	28.99	+0.80	28.78	+0.11	Vigilancia	0
16 Mona	28.72	+0.79	28.78	+0.09	Vigilancia	0
Promedio Isla	28.67	+0.81	28.64	0.05	Vigilancia	0
Sur	28.81	+0.94	28.71	+0.11	Vigilancia	0
Este	28.56	+0.83	28.53	+0.03	Vigilancia	0
Norte	28.51	+0.75	28.57	0.00	No estrés	0
Oeste	28.81	+0.73	28.77	+0.05	Vigilancia	0

*A= anomalía; MMM= monthly maximum mean (temperatura promedio mensual máxima= máxima anual). Fecha: 13 de mayo de 2026.

Las Figuras 27 a la 42 ilustran las variaciones históricas en la temperatura del mar y en la acumulación de DHWs a través de las 16 estaciones virtuales del CRWP en Puerto Rico. Las temperaturas del mar a través de todas las estaciones virtuales se mantienen aún a final de junio de 2026 en niveles por debajo del estrés térmico conducente a blanqueamiento, aunque 63% de ellas ya muestran condiciones de **vigilancia de blanqueamiento** de corales. De todas formas, en el remanente de las estaciones virtuales se documentaron anomalías térmicas positivas, alcanzándose temperaturas promedio aproximándose o muy cercanas al **MMM**.

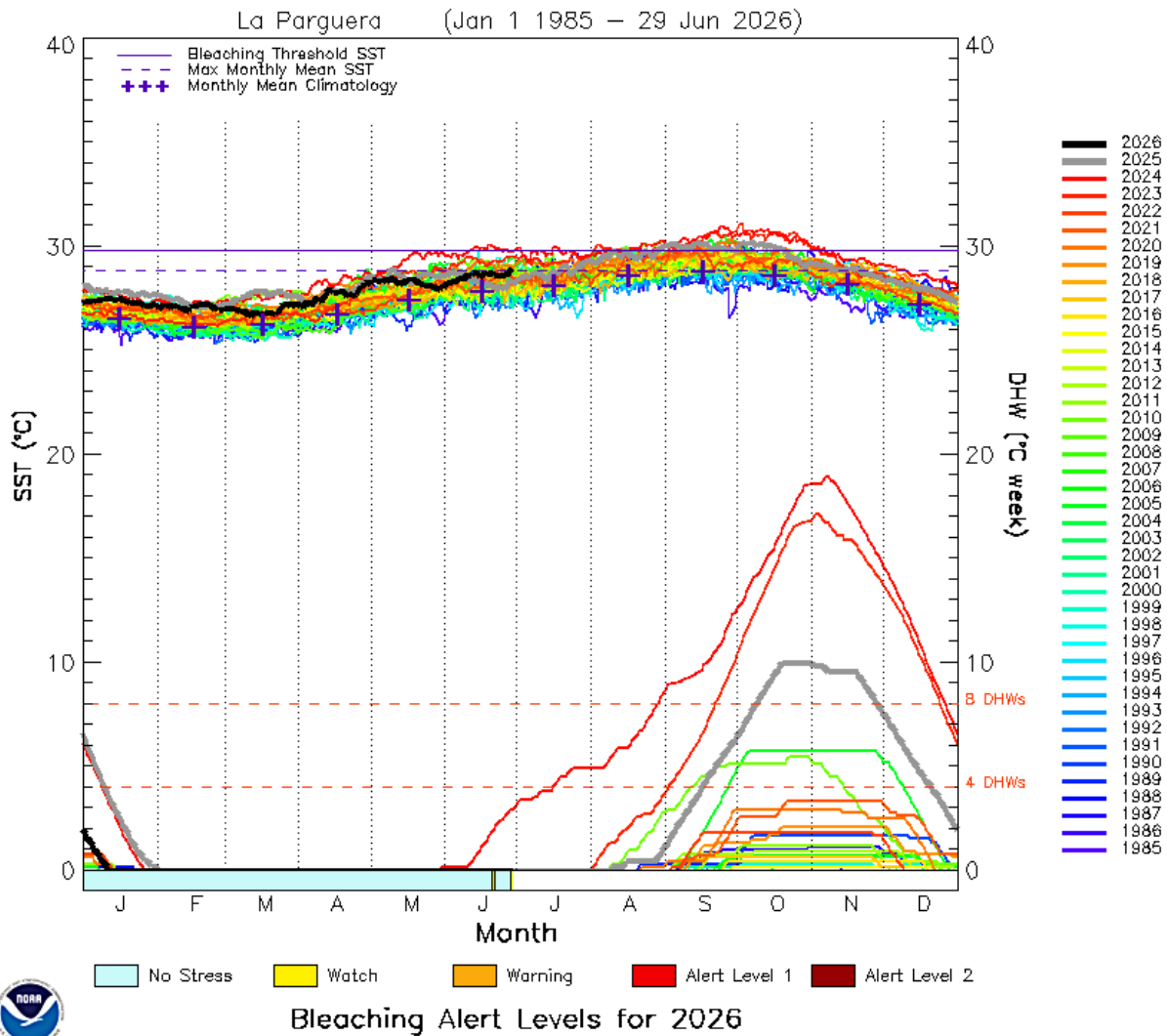


FIGURA 27. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2026) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de La Parguera (accedido el 1 de julio de 2026).

https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#LaParguera

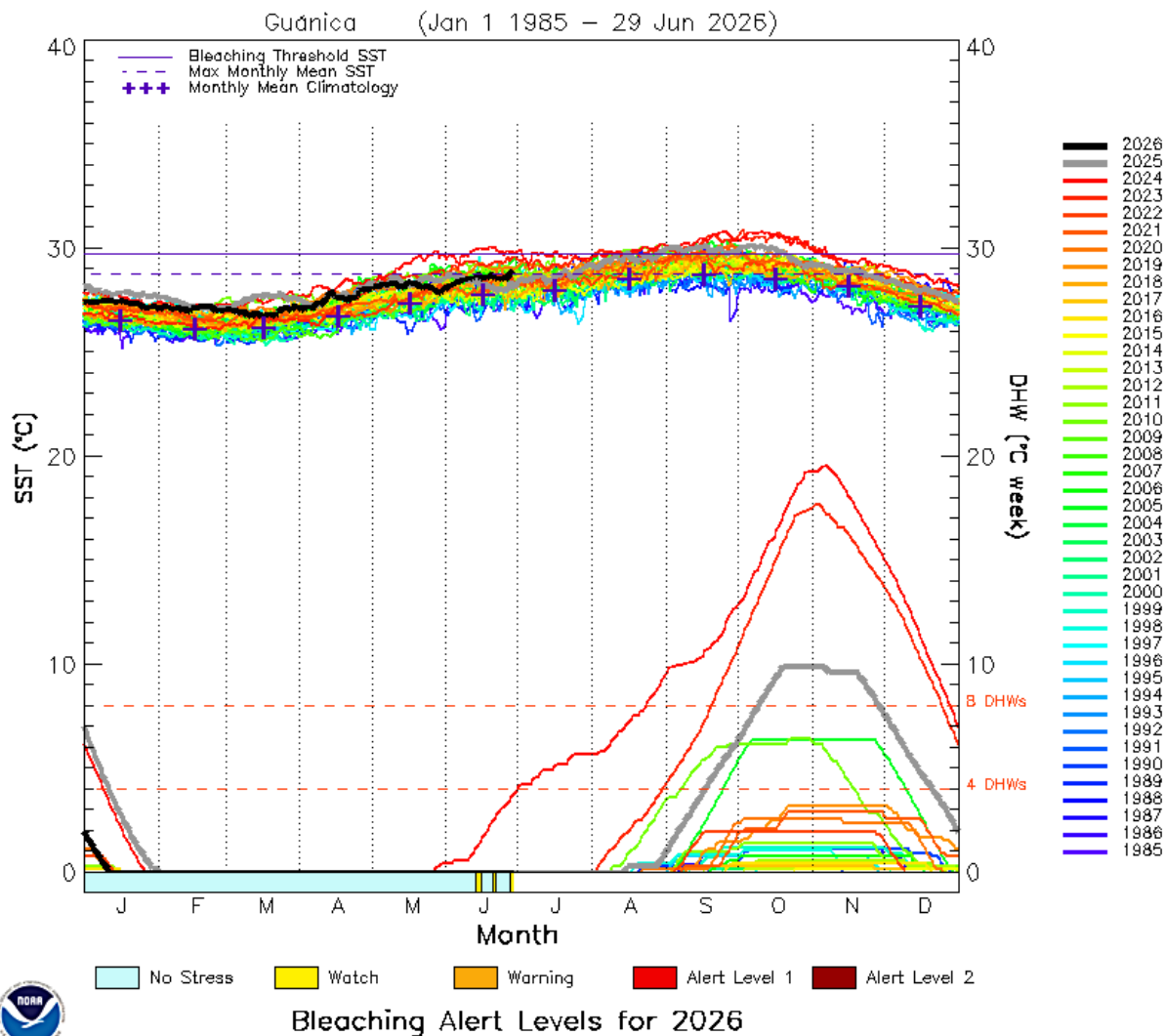


FIGURA 28. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2026) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Guánica (accedido el 1 de julio de 2026).
https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Guanica

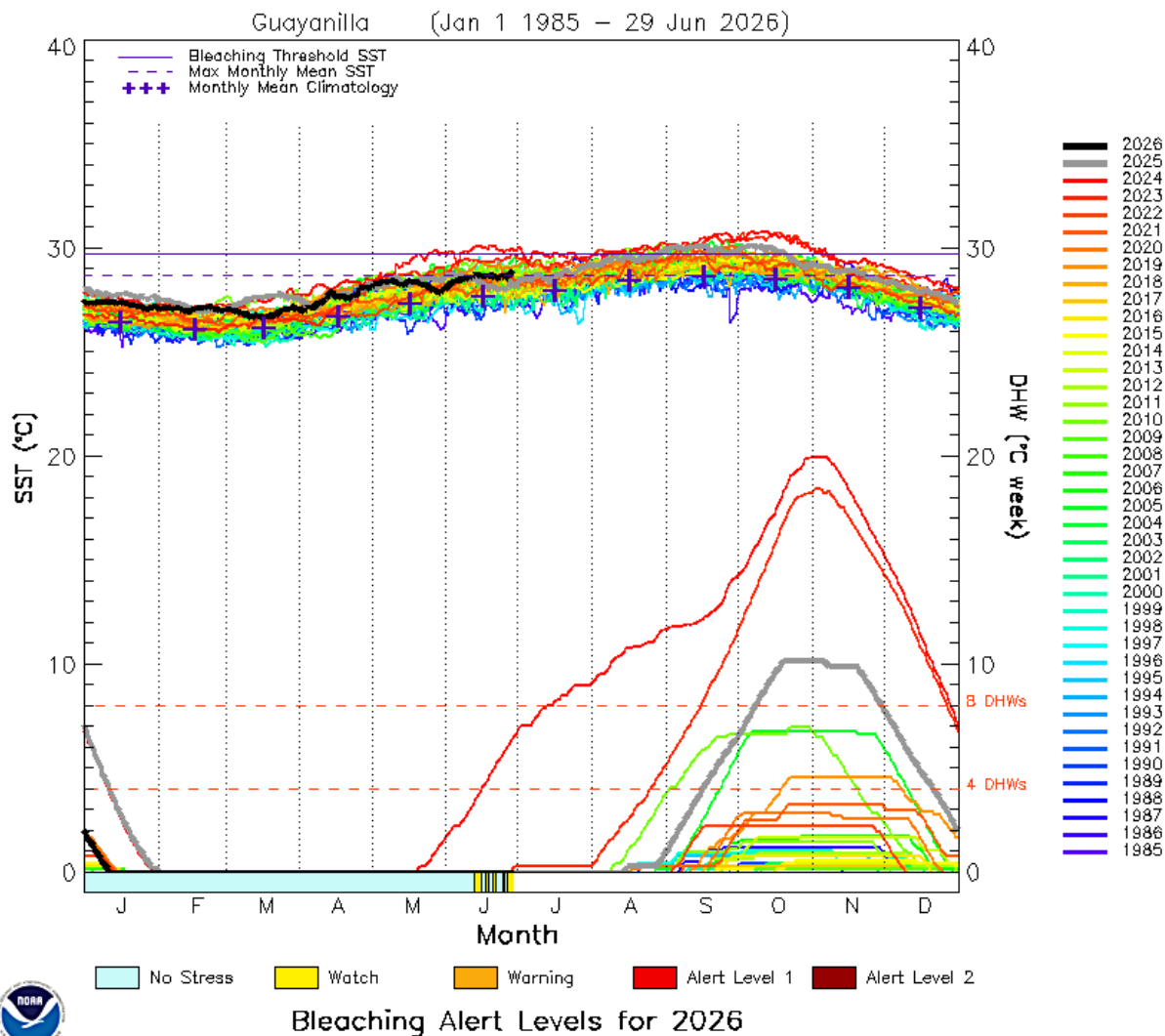


FIGURA 29. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2026) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Guayanilla (accedido el 1 de julio de 2026).
https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Guayanilla

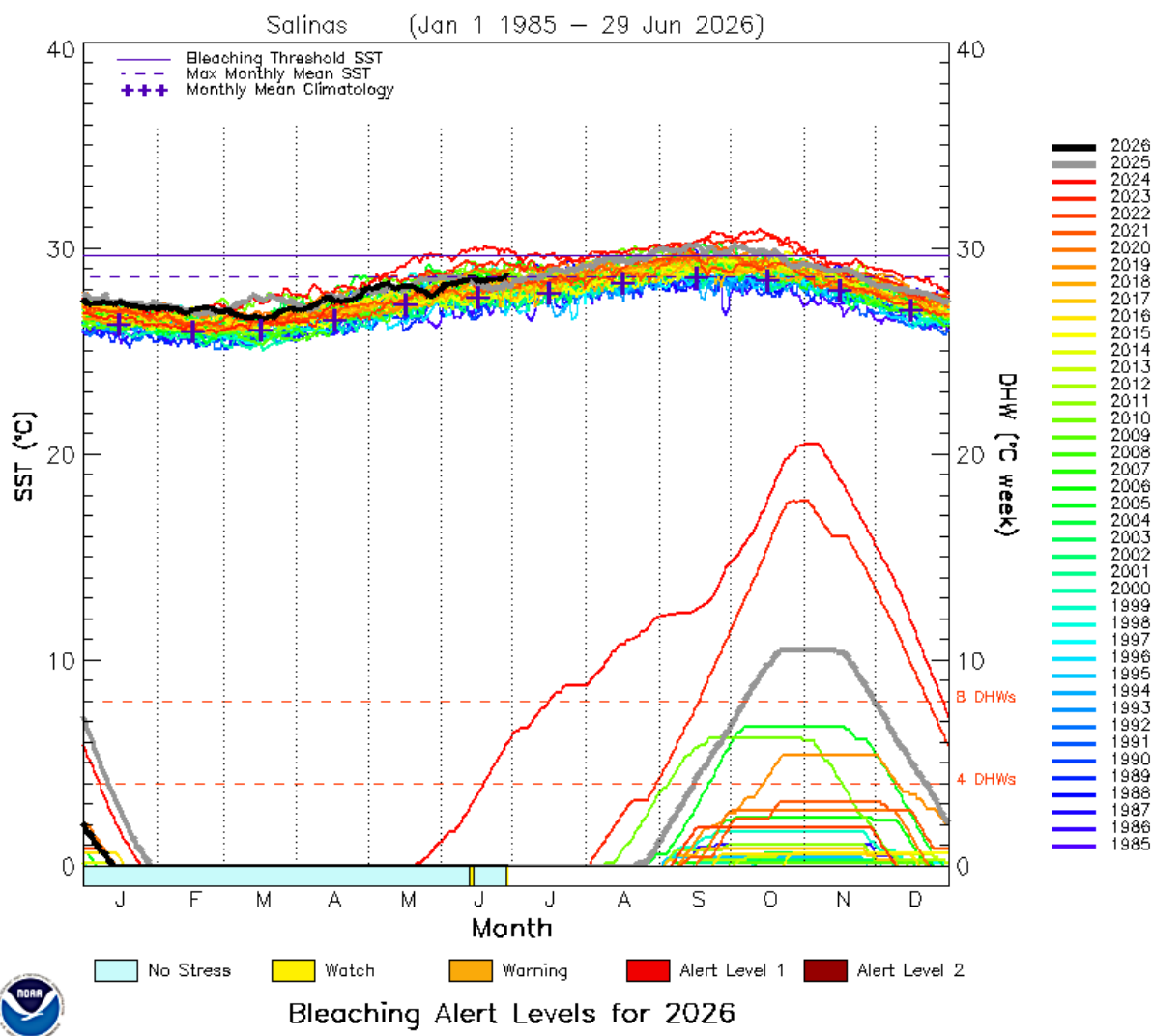


FIGURA 30. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2026) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Salinas (accedido el 1 de julio de 2026).
https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Salinas

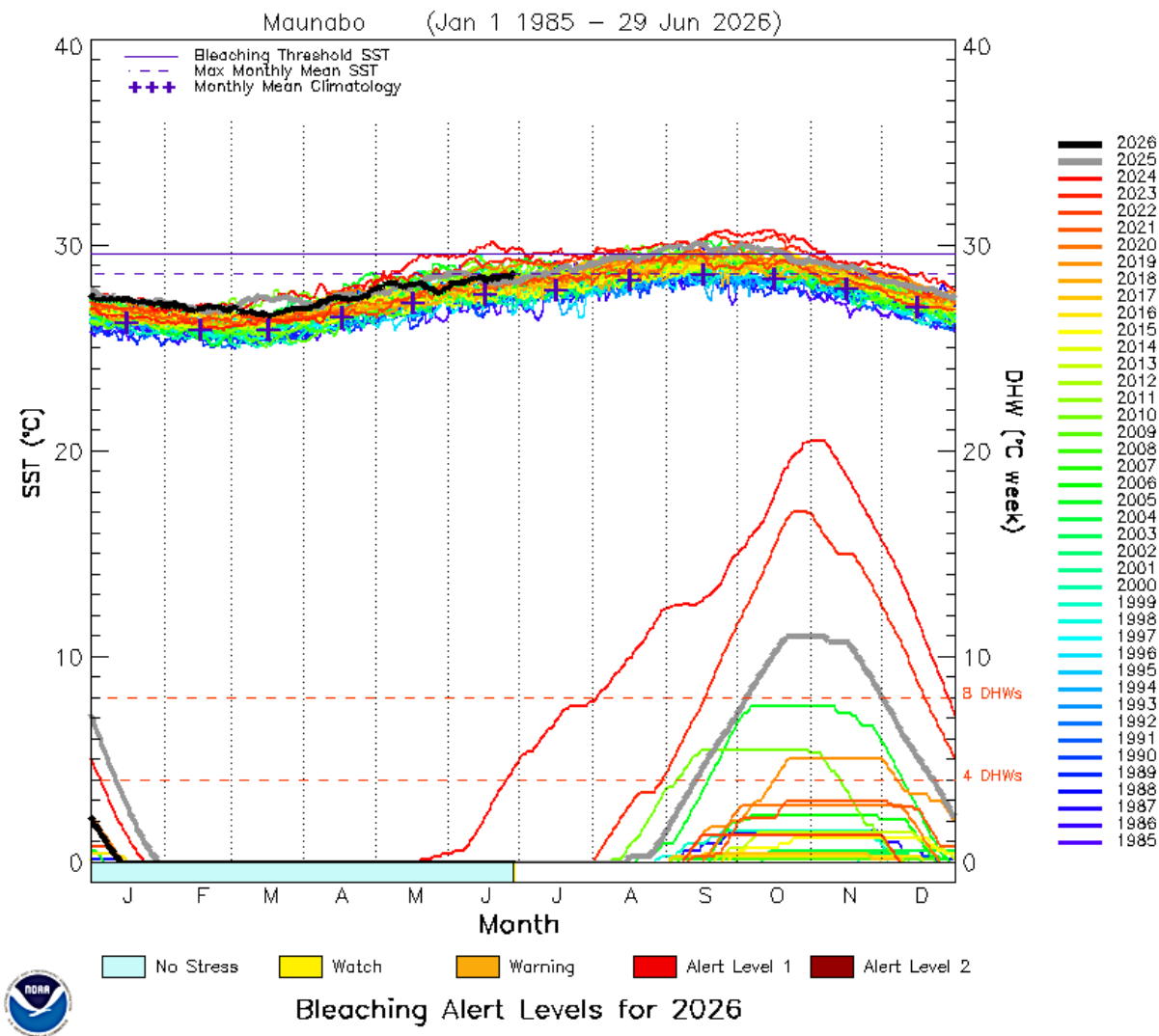


FIGURA 31. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2026) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Maunabo (accedido el 1 de julio de 2026).

https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Maunabo

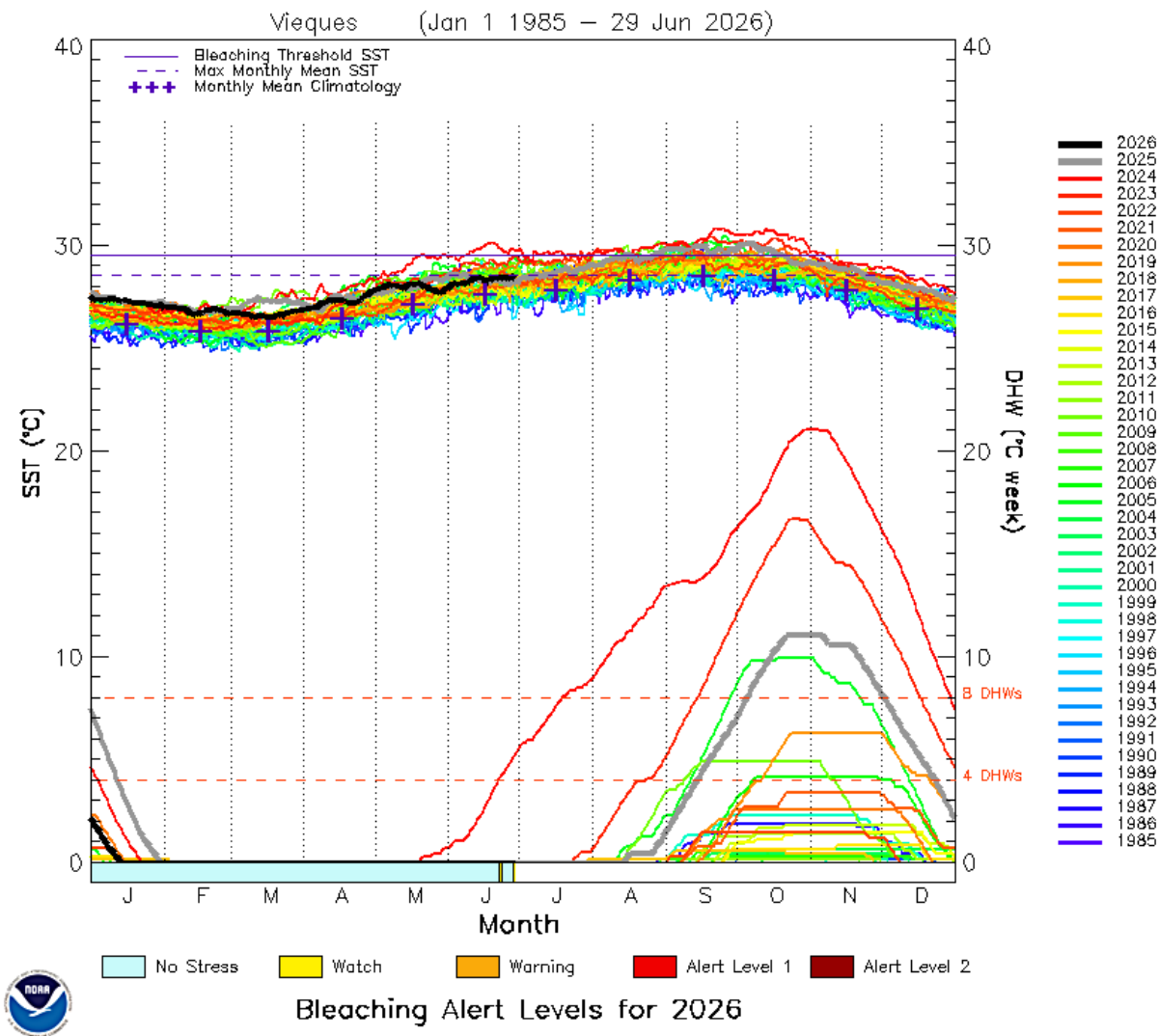


FIGURA 32. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2026) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Vieques (accedido el 1 de julio de 2026).
https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Vieques

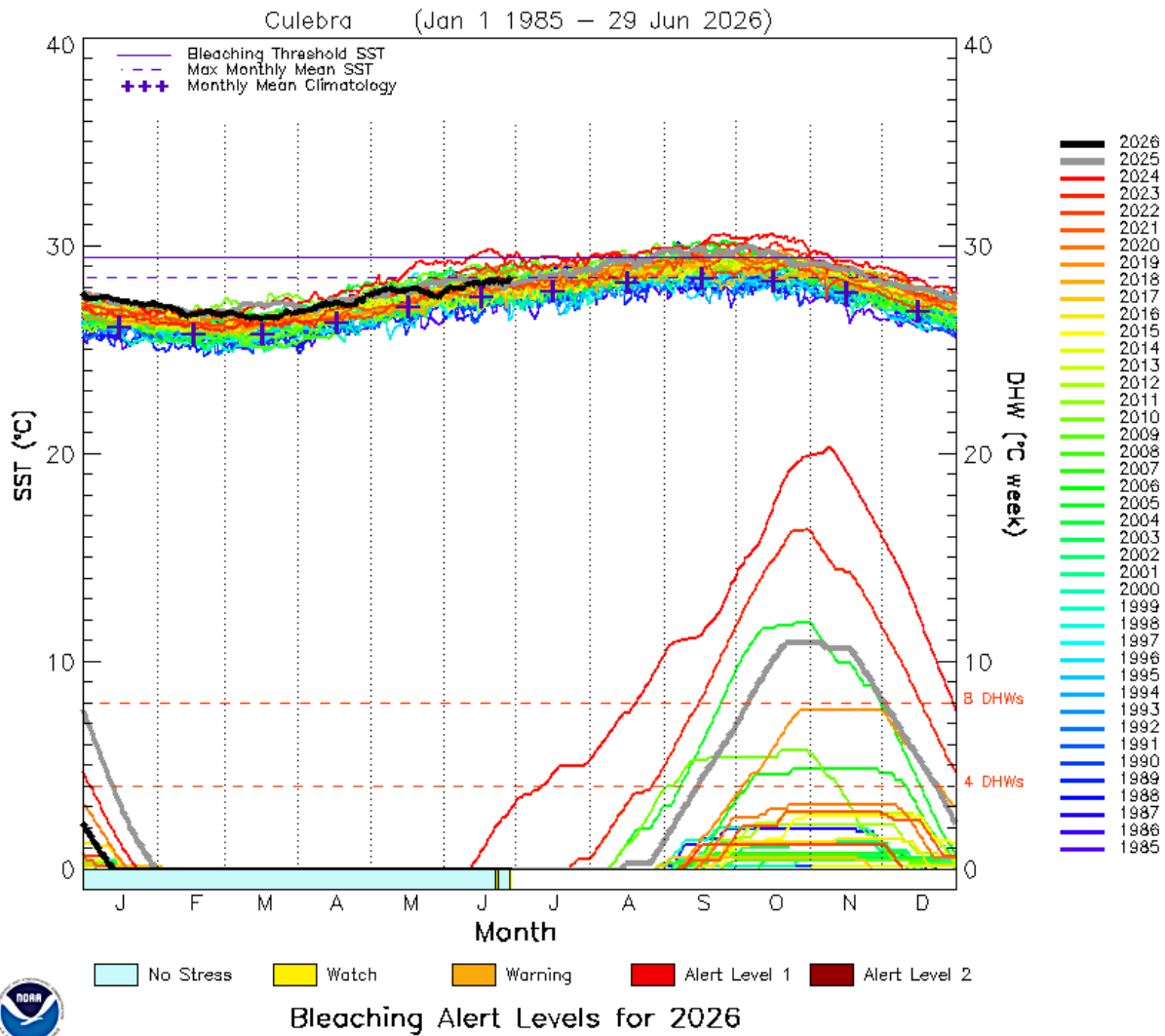


FIGURA 33. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2026) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de la Isla de Culebra (accedido el 1 de julio de 2026).
https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Culebra

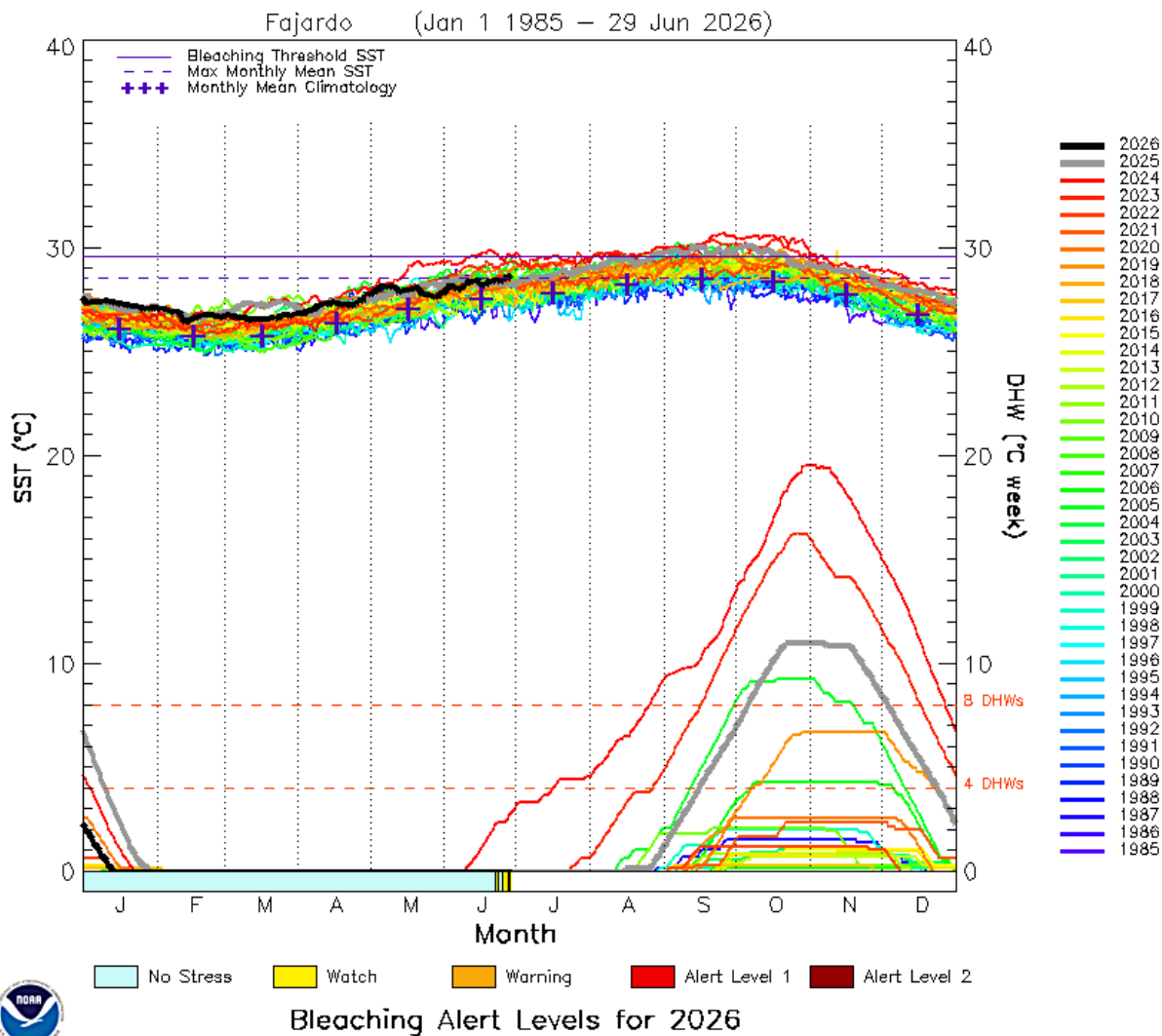


FIGURA 34. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2026) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Fajardo (accedido el 1 de julio de 2026).

https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Fajardo

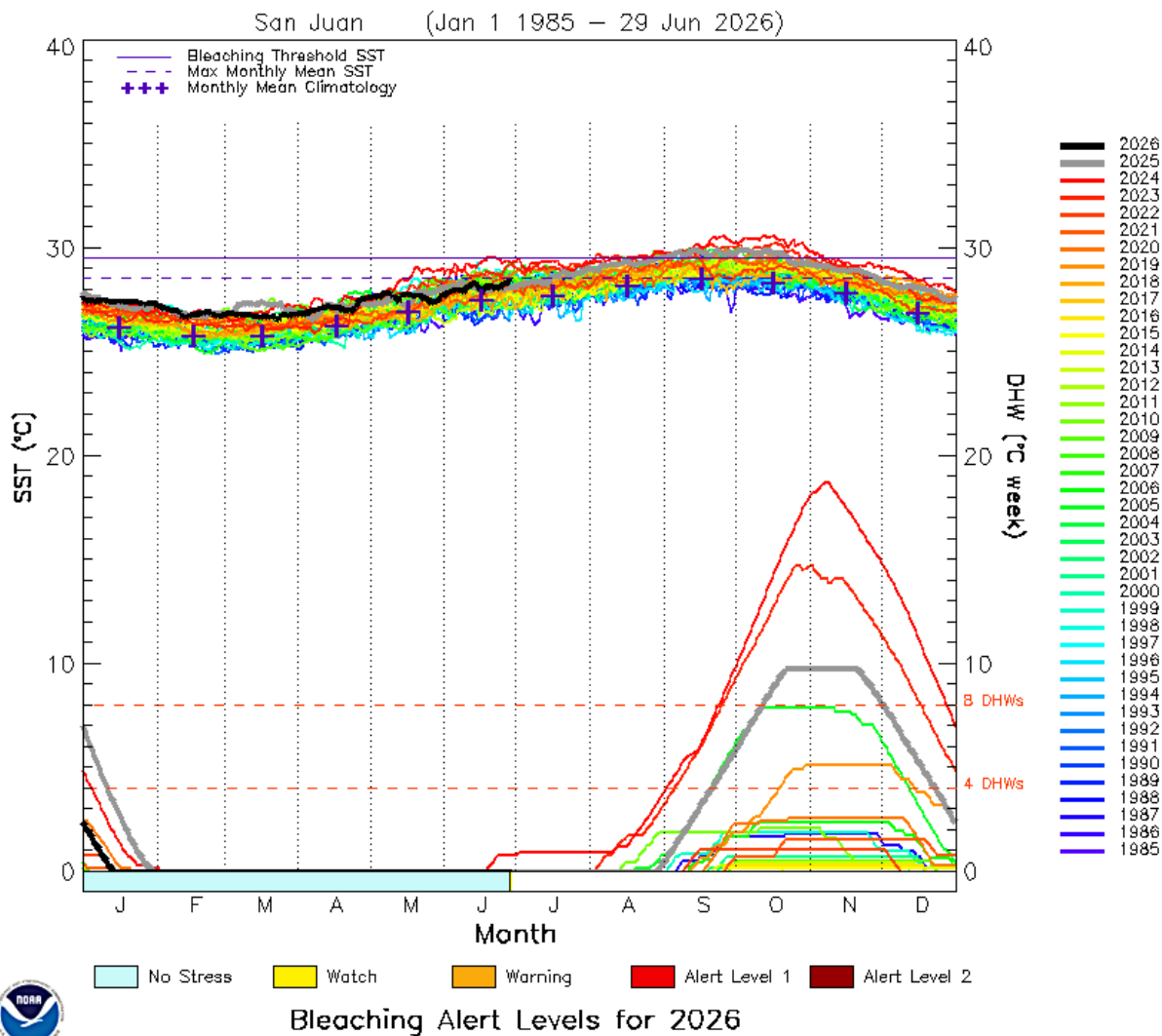


FIGURA 35. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2026) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de San Juan (accedido el 1 de julio de 2026).
https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#SanJuan

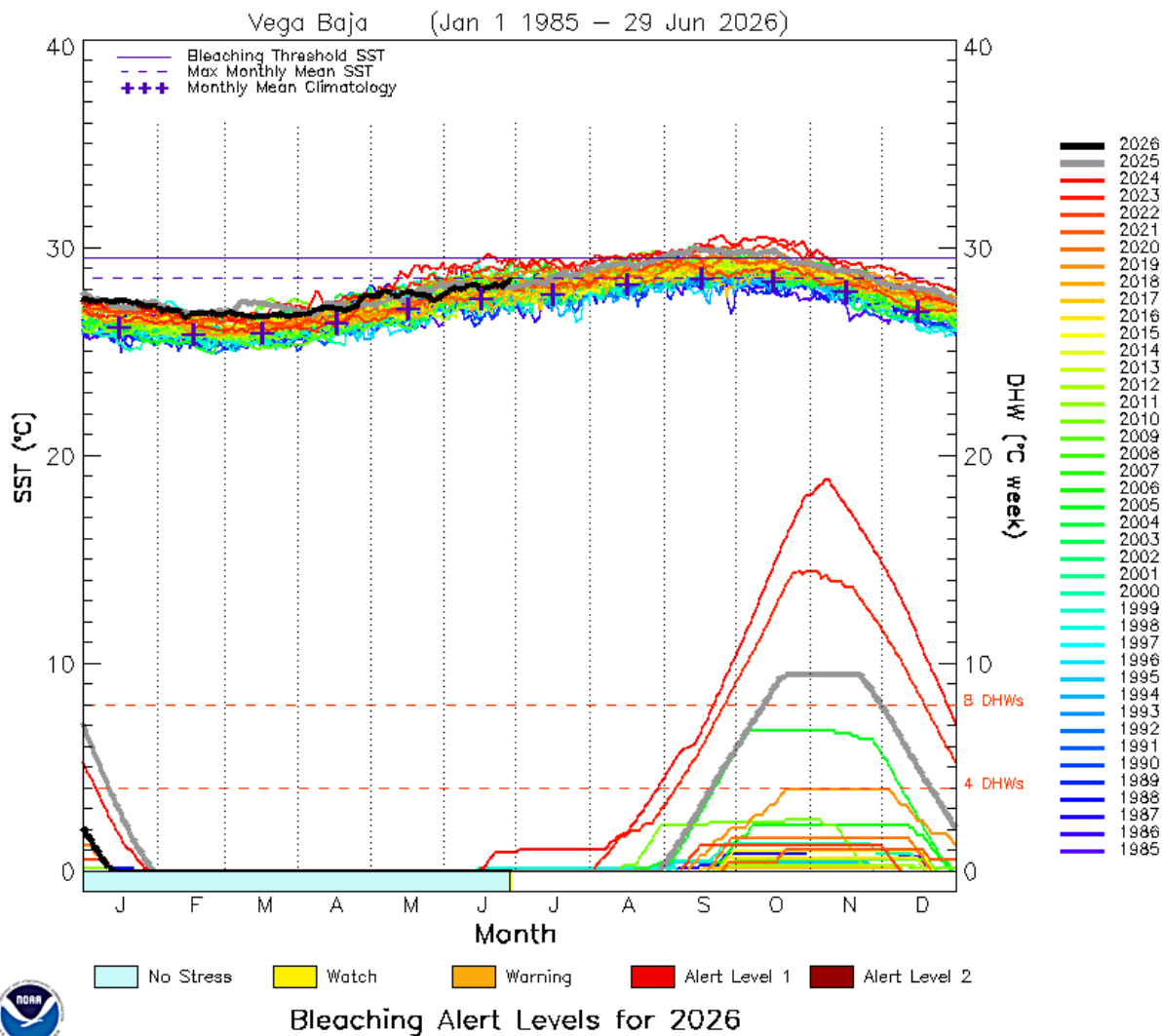


FIGURA 36. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2026) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Vega Baja (accedido el 1 de julio de 2026).
https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#VegaBaja

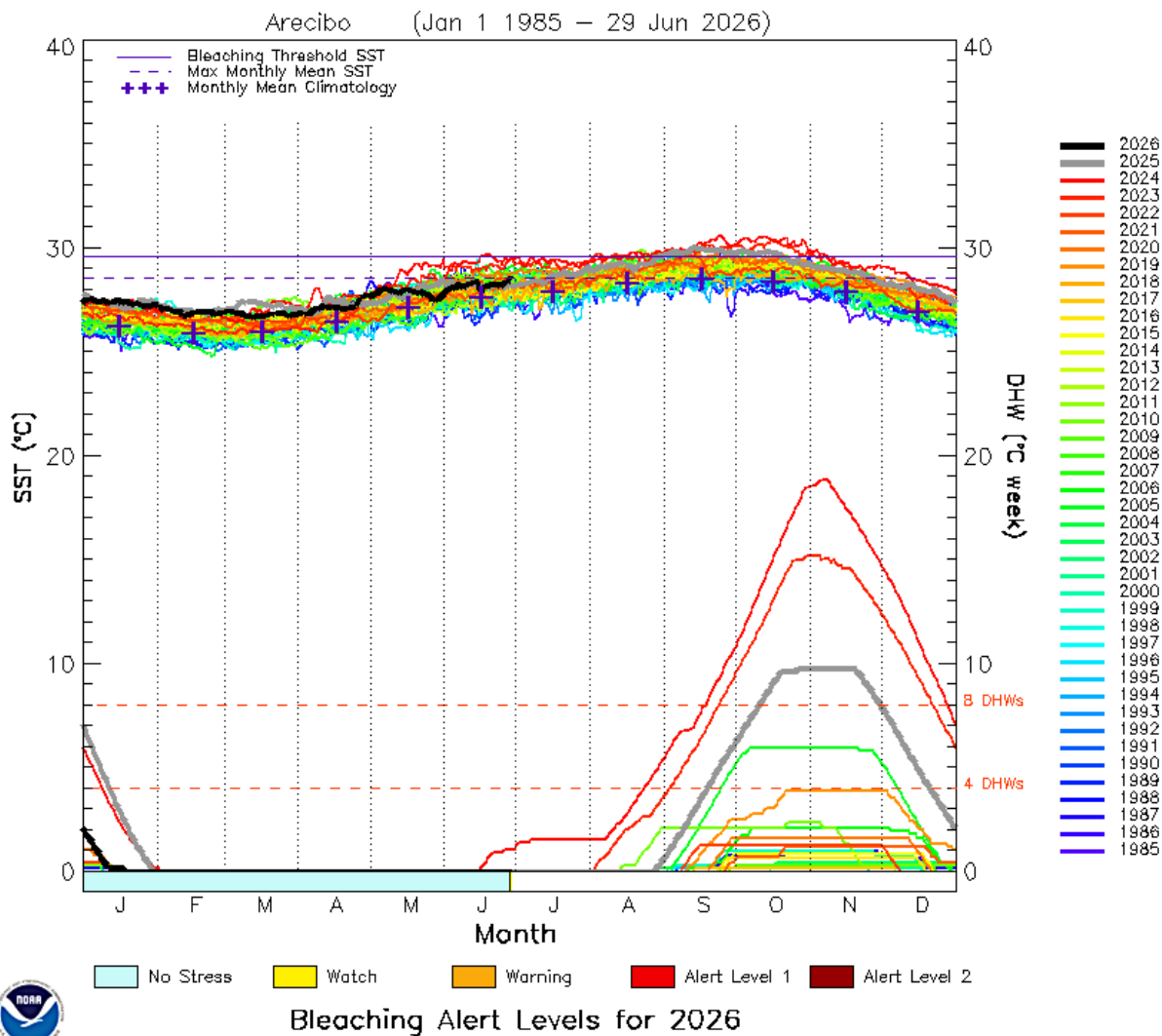


FIGURA 37. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2026) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Arcibo (accedido el 1 de julio de 2026).
https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Arcibo

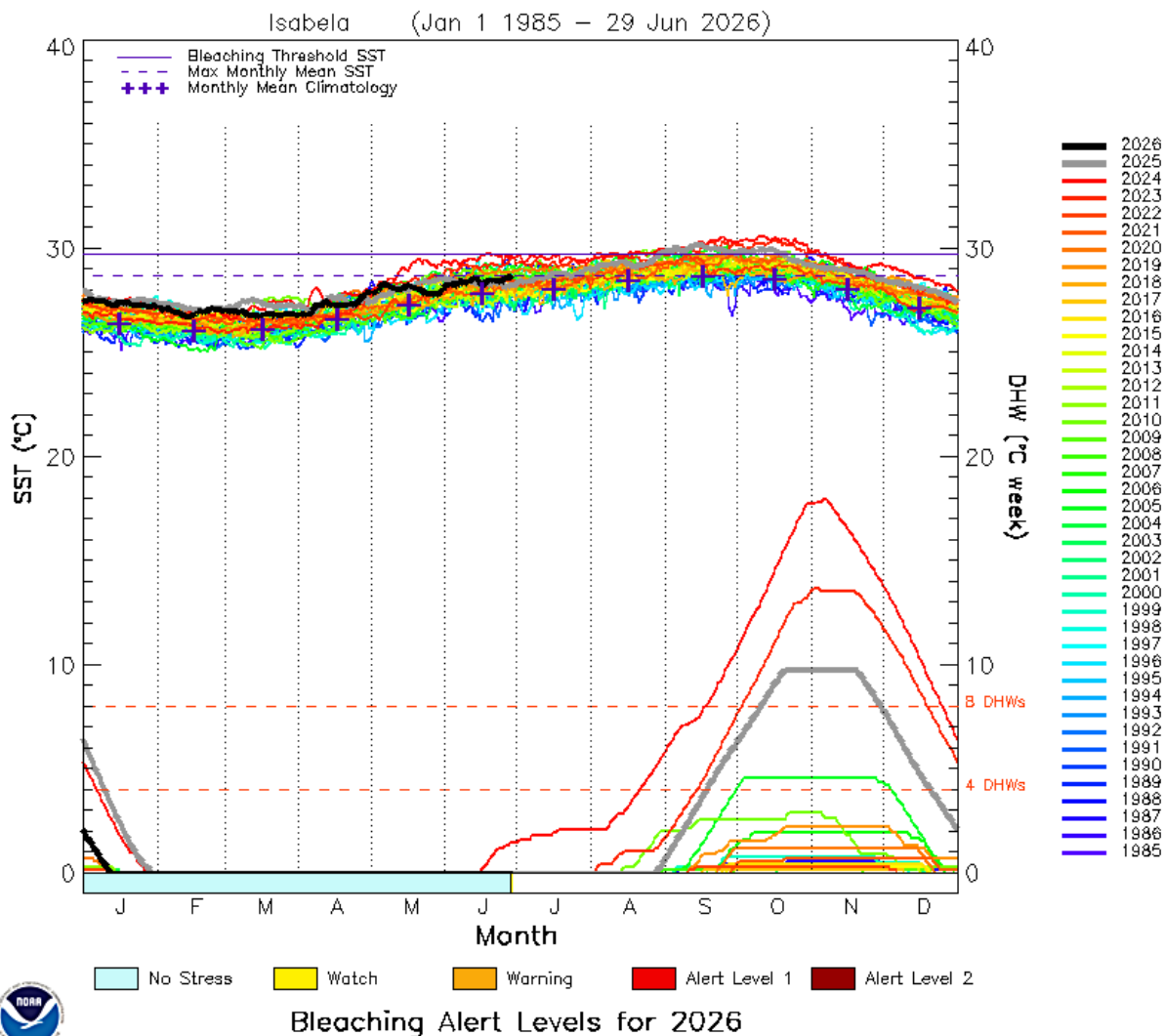


FIGURA 38. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2026) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Isabela (accedido el 1 de julio de 2026).

https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Isabela

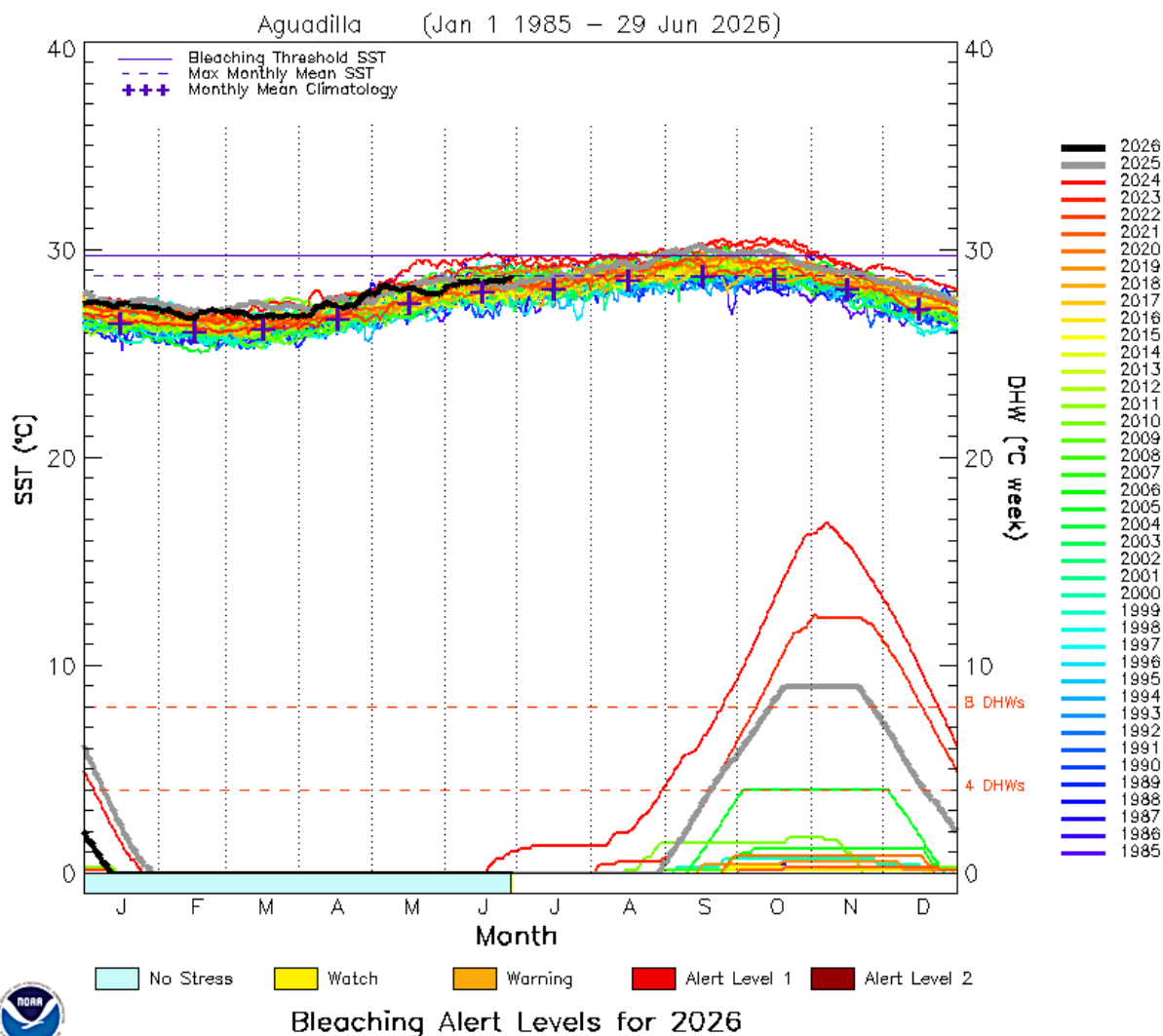


FIGURA 39. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2026) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Agudilla (accedido el 1 de julio de 2026).
https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Agudilla

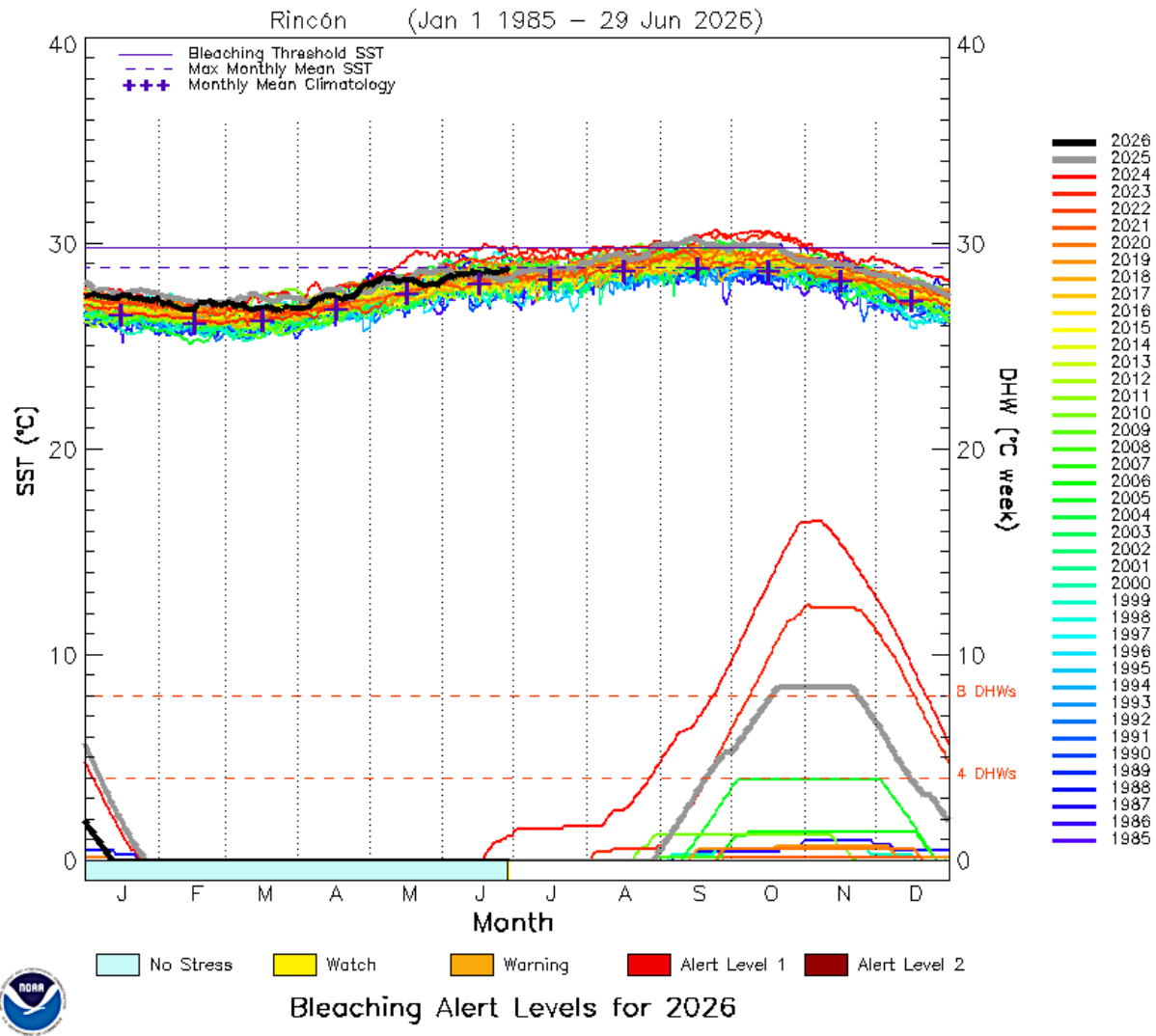


FIGURA 40. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2026) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Rincón (accedido el 1 de julio de 2026).

https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Rincon

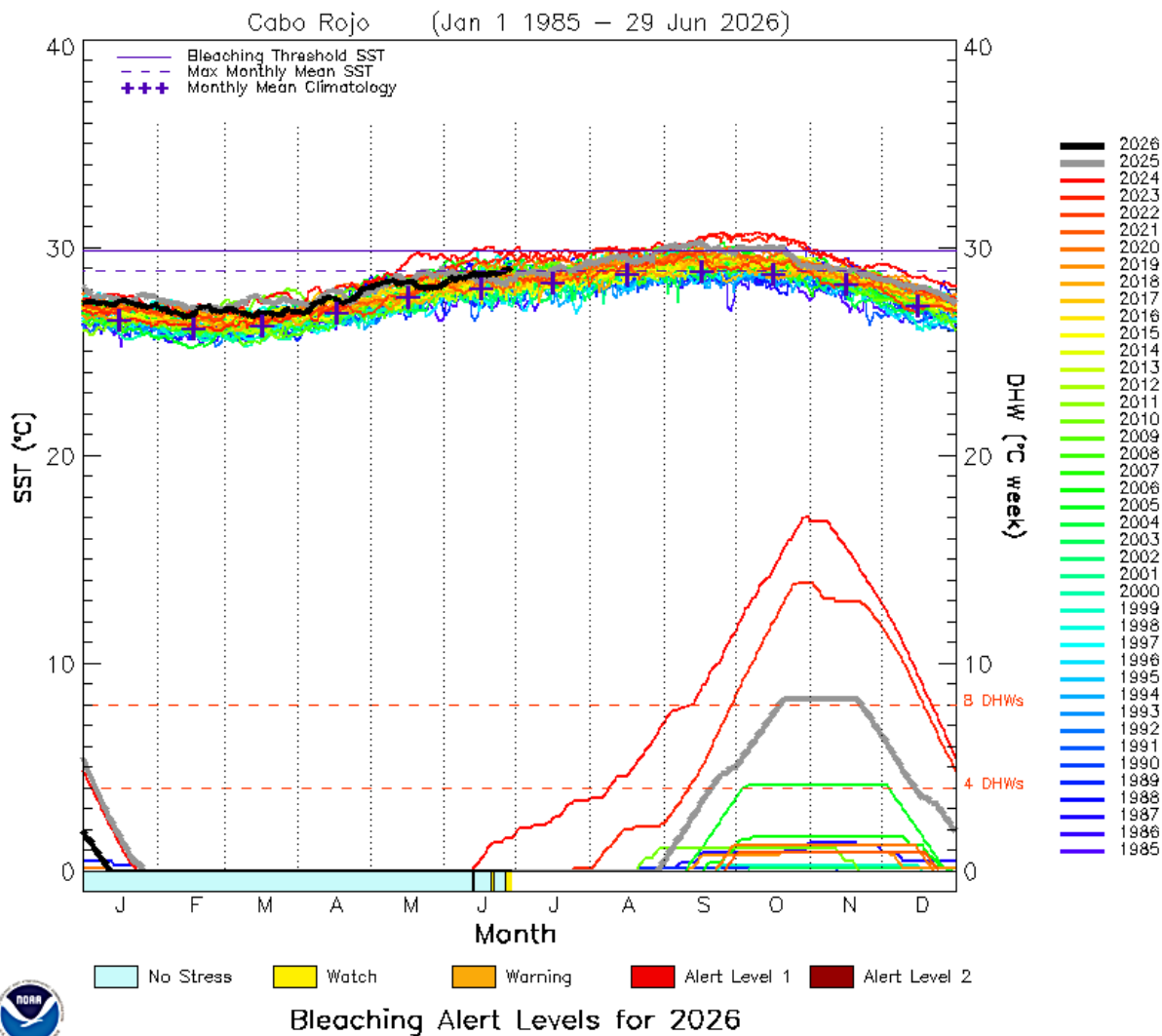


FIGURA 41. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2026) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Cabo Rojo (accedido el 1 de julio de 2026).

https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#CaboRojo

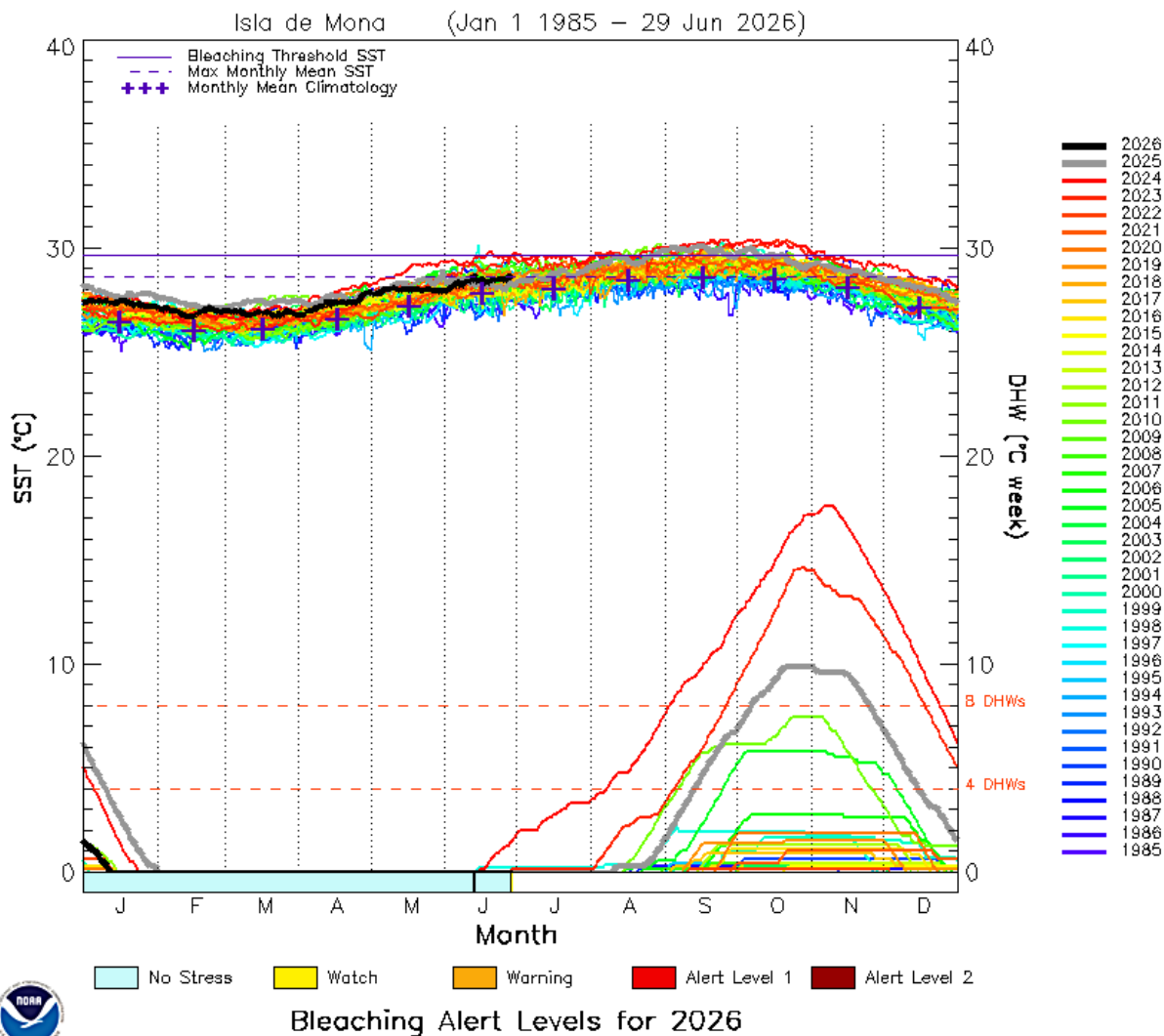


FIGURA 42. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2026) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Isla de Mona (accedido el 1 de julio de 2026).

https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Mona

X. Proyecciones regionales de blanqueamiento de corales (mayo a agosto de 2026) – Coral Reef Watch Program (NOAA)

La Figura 43 ilustra la proyección que hizo a final de junio de 2026 el CRWP de NOAA sobre los riesgos de blanqueamiento de corales para Puerto Rico durante el resto del verano y comienzos del otoño de 2026. Esto muestra que todas las aguas de la isla se muestran las primeras señales de estrés térmico, bajo una **vigilancia de blanqueamiento** de corales. Interesantemente, sugiere que durante julio podría desaparecer la condición de **vigilancia de blanqueamiento** debido al enfriamiento que ha mostrado en semanas recientes el Caribe. Pero luego se restablecería condición durante agosto, mientras para finales de septiembre se anticipa el riesgo de que al menos la costa este y norte pudieran exponerse a una condición de **aviso de blanqueamiento** y de comienzo de acumulación de DHWs.

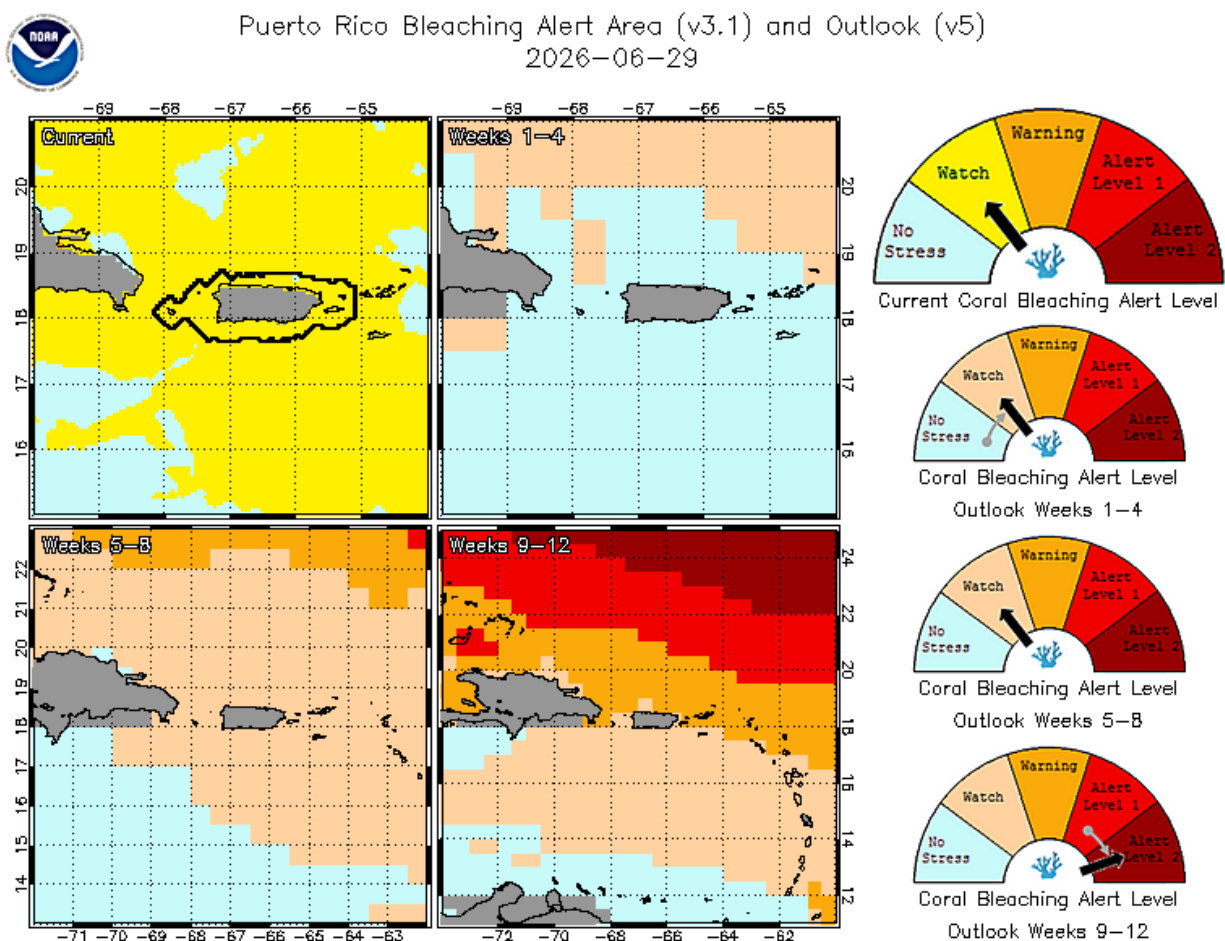


FIGURA 43. Proyecciones potenciales de las alertas de blanqueamiento para Puerto Rico para los meses de julio a septiembre de 2026. Fuente: https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs/gauges/puerto_rico.php (accedido: 1 de julio de 2026).

De materializarse dicho escenario, el riesgo de un evento masivo de blanqueamiento de corales en la isla y en el noreste del Caribe durante el 2026 se mantendría aun mínimo y altamente dependiente de la

evolución, extensión y magnitud de desarrollo del fenómeno de El Niño y sus consecuencias para el Caribe. De ahí la importancia de mantener vigilancia sobre las temperaturas del mar y aprovechar la oportunidad para revisar y repasar los planes de contingencia para cualquier posible impacto de un blanqueamiento mayor nuevamente dentro de un mes o menos.

En la Figura 44a se documentó a mediados de mayo de 2026 partes de la región oeste del Caribe ya se encontraban bajo **vigilancia de blanqueamiento**, mientras que algunas zonas amplias de la costa caribeña de Centro América ya se encontraban bajo **aviso de blanqueamiento**. La condición de **vigilancia de blanqueamiento** se mantiene a final de junio en toda la costa caribeña de América Central y se ha extendido a través del norte del Caribe y de algunas de las Antillas Menores, con algunas zonas en el Golfo de Campeche, el suroeste de Cuba y el noroeste de las Bahamas ya bajo **aviso de blanqueamiento** o inclusive bajo **Alerta 1 de blanqueamiento**, sugiriendo que el blanqueamiento ya es inminente y ha comenzado a afectar algunos corales en dichas zonas (Figura 44b). Pero el sur del Caribe se mantiene aun generalmente libre de estrés.

La Figura 45a evidencia que en mayo de 2026 la zona oeste del Caribe ya presentaba un hot spot de +0.5 a +1.0°C, con las zonas de la costa caribeña centroamericana con valores de +1.0 a +1.5°C. Sin embargo, a final de junio de 2026 las zonas de hot spot se han expandido a través del norte y noreste del Caribe, principalmente, con anomalías de +0.5 a +1.0°C, pero algunas zonas en el Golfo de Campeche, el suroeste de Cuba y el noroeste de las Bahamas ya evidencian un hot spot de +1.0 a +1.5°C (Figura 45b). La Figura 46a ilustra que durante mayo de 2026 solo las costas caribeñas de América Central, partes de Colombia y las aguas alrededor de la Isla de la Juventud, en Cuba, habían comenzado a acumular 1-2 DHWs. Sin embargo, a final de junio de 2026 existen algunos tramos de las costas caribeñas de América Central, partes de Colombia y las aguas alrededor de la Isla de la Juventud, en Cuba, ya han comenzado a acumular de 5 a 7 DHWs, con algunos pequeños sectores con hasta 7 a 9 DHWs, lo que aumenta significativamente el riesgo de blanqueamiento en dichas áreas (Figura 46b). En el resto de la costa sur de Cuba y algunas zonas del oeste del Caribe ya se han comenzado a acumular de 1 a 2 DHWs, sugiriendo riesgos potenciales de blanqueamiento entre los meses de agosto a septiembre para esas zonas.

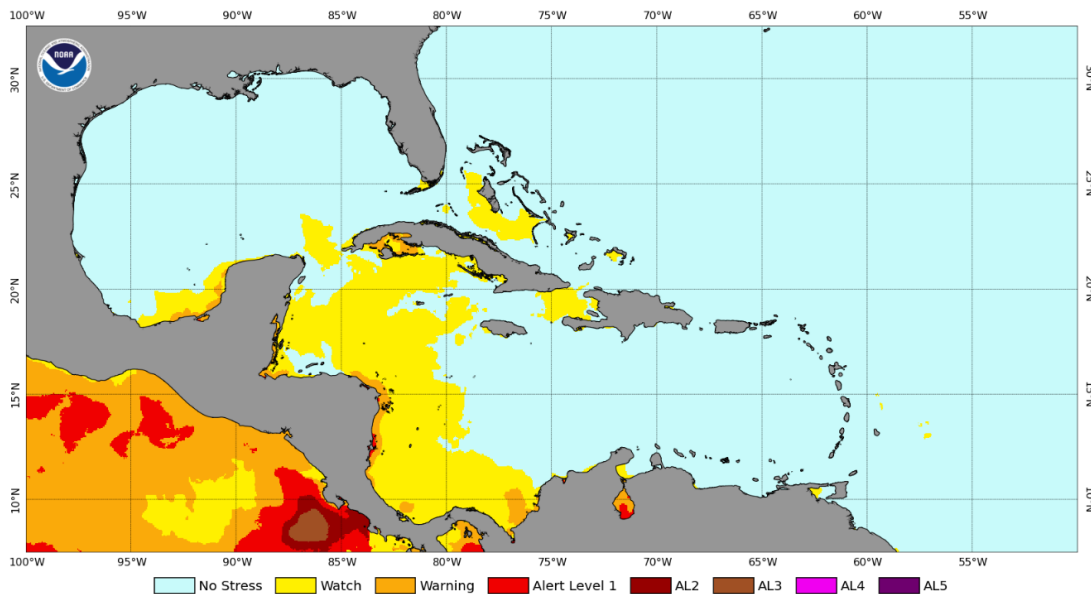
Los DHWs son una medida de la cantidad de calor acumulado en la capa superior del océano a lo largo del tiempo. Se calcula tomando la temperatura media semanal de la superficie del mar y restando una temperatura de referencia, normalmente la temperatura media de la superficie del mar durante un período de 30 años, o la máxima anual (MMM). Si la temperatura medida está por encima de la temperatura de referencia, la diferencia se considera una "anomalía positiva" y se multiplica por el número de semanas para obtener los grados de calentamiento por semana. Si la temperatura medida está por debajo de la temperatura de referencia, la diferencia se considera una "anomalía negativa" y no se cuenta.

Una acumulación de 4 DHWs puede resultar en un blanqueamiento parcial de algunas especies de corales. Una acumulación de 8 DHWs puede resultar en un blanqueamiento masivo de corales, mientras que una acumulación de 12 o más DHWs puede resultar en un evento significativo de mortalidad para muchos corales. Bajo las clasificaciones nuevas del CRWP, una acumulación por arriba de 12 o de 16 semanas podría resultar en una mortandad severa a catastrófica de corales. Dicho efecto se magnifica aún más si la acumulación alcanza 16 a 20 semanas o si excede de 20 semanas.

El DHW se utiliza como una herramienta para monitorear y predecir el potencial de desarrollo de eventos de blanqueamiento de corales. Los arrecifes de coral son sensibles a los cambios en la temperatura del océano, por ejemplo, durante eventos de El Niño, y la exposición prolongada a altas temperaturas y a la irradiación solar puede hacer que el coral expulse las algas simbióticas que les

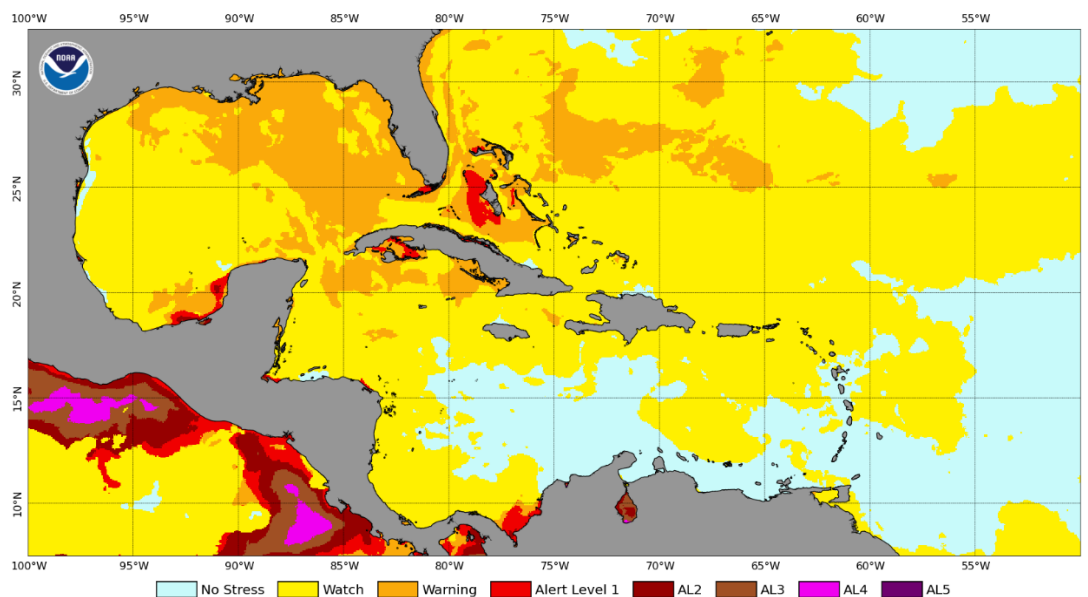
proporcionan nutrientes y les dan su color, lo que provoca la decoloración y, potencialmente, la muerte del coral, de ser un evento muy prolongado. Cuanto mayor sea la acumulación de DHWs, mayor será la probabilidad de blanqueamiento de corales.

NOAA Coral Reef Watch Daily 5km Bleaching Alert Area 7-day Maximum (v3.1) 18 May 2026



A

NOAA Coral Reef Watch Daily 5km Bleaching Alert Area 7-day Maximum (v3.1) 5 Jul 2026



B

FIGURA 44. Areas bajo alertas de blanqueamiento de corales en el Caribe, basado en el NOAA Coral Reef Watch Program. Accedido: A) 19 de mayo de 2026; B) 5 de julio de 2026. Fuente: https://coralreefwatch.noaa.gov/data_current/5km/v3.1_op/daily/png/ct5km_baa5-max-7d_v3.1_caribbean_current.png

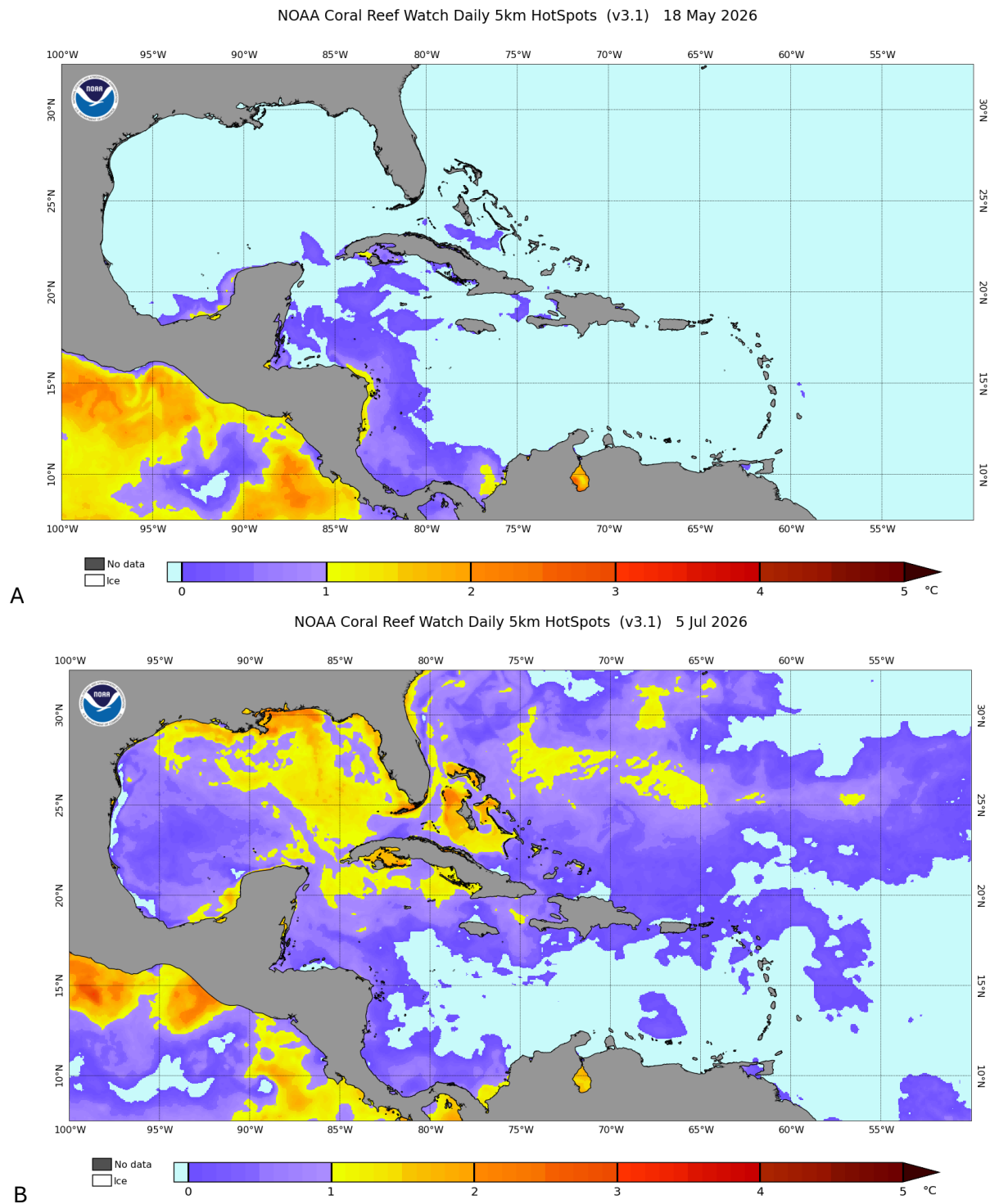


FIGURA 45. Areas bajo alertas de puntos calientes (“hot spots”) conducentes al blanqueamiento de corales en el Caribe basado en el NOAA Coral Reef Watch Program. Accedido: A) 19 de mayo de 2026; B) 5 de julio de 2026. Fuente: https://coralreefwatch.noaa.gov/data_current/5km/v3.1_op/daily/png/ct5km_hs_v3.1_caribbean_current.png

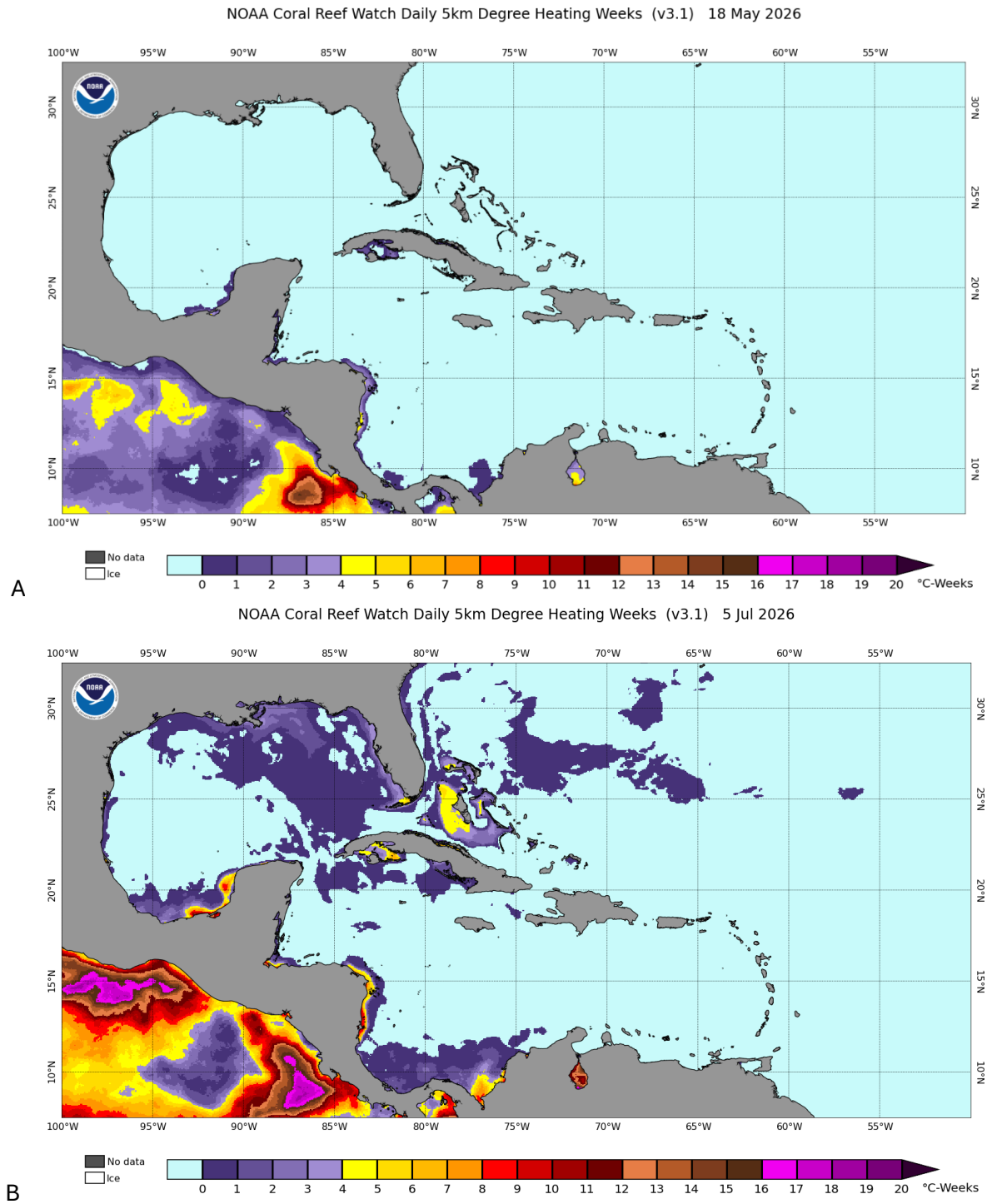


FIGURA 46. Áreas bajo alertas de acumulación de semanas consecutivas de calor (“degree heating weeks”, o DHWs, por sus siglas en inglés) conducentes al blanqueamiento de corales, basado en el NOAA Coral Reef Watch Program. Accedido: A) 19 de mayo de 2026; B) 5 de julio de 2026. Fuente: https://coralreefwatch.noaa.gov/data_current/5km/v3.1_op/daily/png/ct5km_dhw_v3.1_caribbean_current.png

El DHW generalmente se informa como una medida acumulativa durante un período de tiempo, como un mes o una temporada. Un DHW de 4 semanas se considera el umbral para el potencial de blanqueamiento significativo de corales. Cualquier acumulación mayor puede tener efectos devastadores en los arrecifes de coral. El DHW se utiliza junto con otras medidas, como las anomalías de la temperatura de la superficie del mar y los patrones de las corrientes oceánicas, para proporcionar una imagen completa del potencial de eventos de blanqueamiento de corales.

El CRWP también proyectaba a finales de junio de 2026 que existía un 90% o más de probabilidad de que el norte del Caribe, las Bahamas, el oeste del Caribe y las Antillas Mayores, incluyendo a Puerto Rico, alcancen entre julio y octubre una condición de **alerta 1 de blanqueamiento**, esto sujeto en parte a la evolución, extensión y magnitud del desarrollo de El Niño (Figura 47). Para las Antillas Menores se anticipa un **aviso de blanqueamiento**, mientras que para el resto del Caribe centroamericano y gran parte de la costa norte de Colombia se anticipa apenas una **vigilancia de blanqueamiento**. No se anticipan por el momento ningún tipo de estrés térmico para gran parte de Venezuela, ni para las Antillas Holandesas.

2026 Jun 30 NOAA 90% Probability Coral Bleaching Heat Stress for Jul–Oct 2026
Experimental, v5.0, CFSv2–based, 28 to 112 Ensemble Members

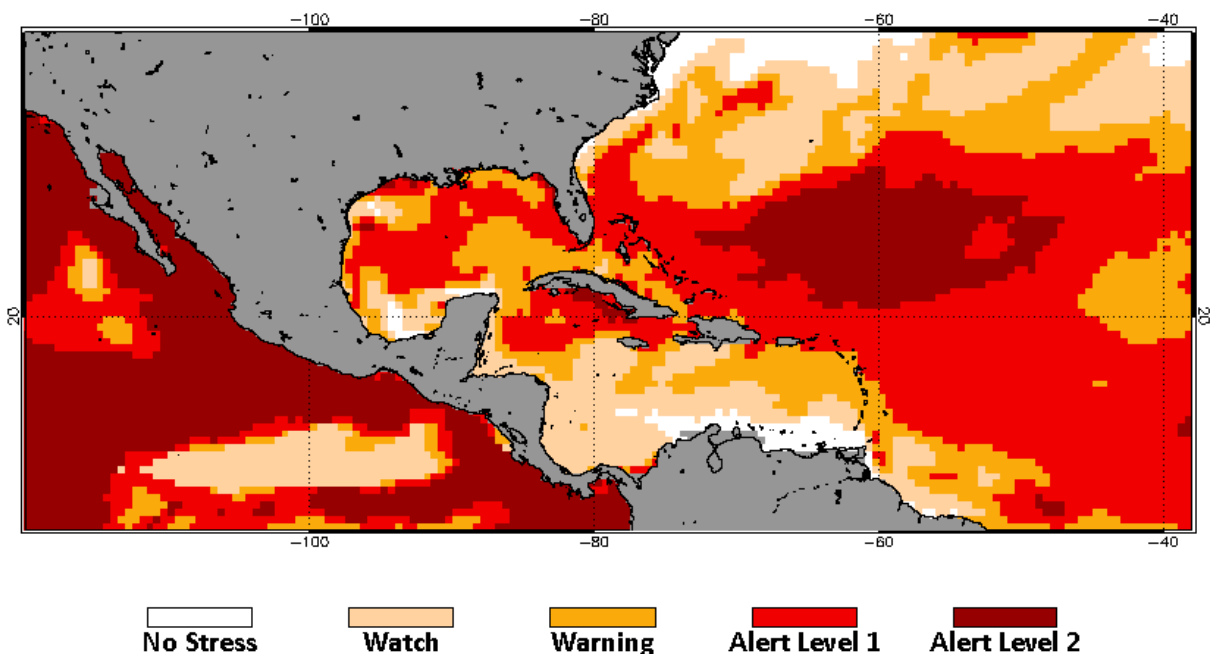


FIGURA 47. Proyección de probabilidad de 90% o mayor de estrés térmico conducente al blanqueamiento de los corales en el Caribe para el período de julio a octubre de 2026. Accedido: 1 de julio de 2026.
Fuente: https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/bleachingoutlook_cfs/current_image/cur_cfsv2_outlook-4mon_v5_90pct_caribbean.gif

Este escenario también sugiere un 60% de probabilidad de que gran parte del del noroeste, norte y este del Caribe, incluyendo a Puerto Rico se emita al menos una **alerta 1 de blanqueamiento** entre julio y octubre de 2026, con zonas al noroeste de las Bahamas bajo **aviso de blanqueamiento** o bajo **alerta 1 de blanqueamiento** (Figura 48).

2026 Jun 30 NOAA 60% Probability Coral Bleaching Heat Stress for Jul–Oct 2026
Experimental, v5.0, CFSv2-based, 28 to 112 Ensemble Members

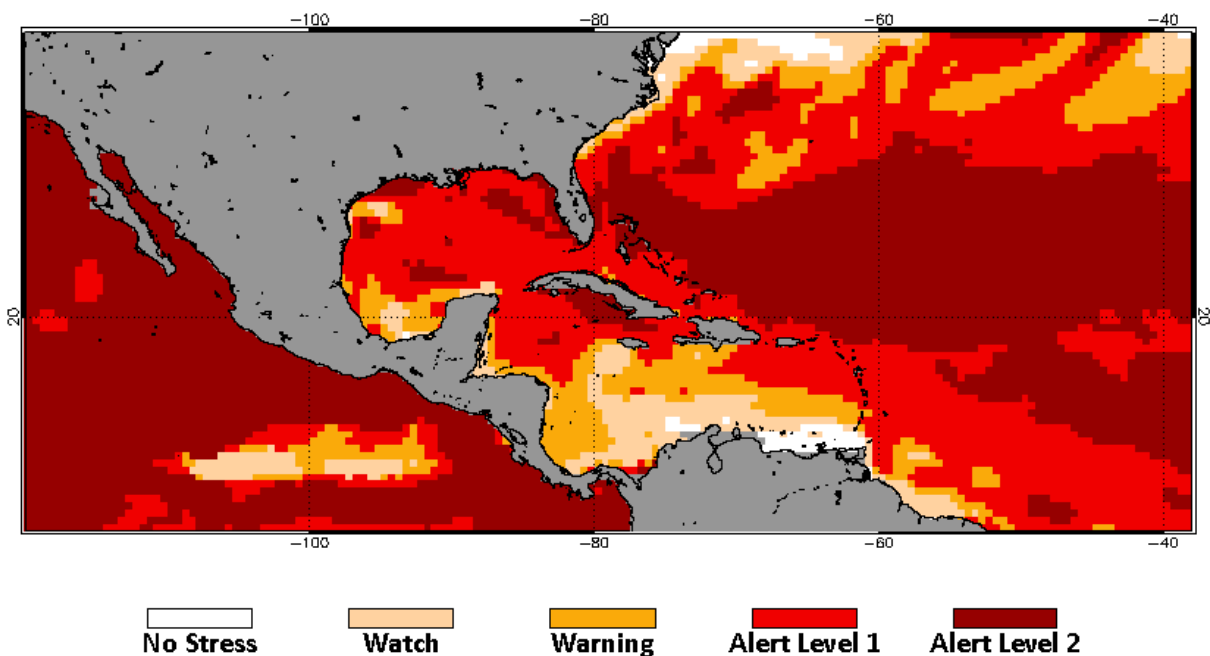


FIGURA 48. Proyección de probabilidad de 60% o mayor de estrés térmico conducente al blanqueamiento de los corales en el Caribe para el período de julio a octubre de 2026. Accedido: 1 de julio de 2026. Fuente: https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/bleachingoutlook_cfs/current_image/cur_cfsv2_outlook-4mon_v5_60pct_caribbean.gif

La probabilidad proyectada de alcanzar una **alerta 2 de blanqueamiento** entre julio y octubre de 2026 fluctúa ampliamente a través del norte del Caribe (Figura 49). Sin embargo, alrededor de Puerto Rico dicha probabilidad fluctúa ya entre 10 y 50%, siendo ya mayor al oeste, norte y este. Interesantemente, para el este del Caribe dicha probabilidad es aún nula.

La probabilidad de alcanzar al menos un nivel de **alerta 1 o 2 de blanqueamiento** a través del norte del Caribe durante el período entre julio y octubre de 2026 fluctúa entre 80 y 100%, de 60 a 90% en las Antillas Menores y el noroeste del Caribe, y menor aun al 30% en el resto del Caribe. Para la zona de Puerto Rico esa probabilidad ya alcanza 80 a 90% en el oeste, y de 90 a 100% en el norte y este (Figura 50).

2026 Jun 30 NOAA Coral Bleaching Heat Stress Probabilities (Alert 2) for Jul–Oct
 Experimental, v5.0, CFSv2–based, 28 to 112 Ensemble Members

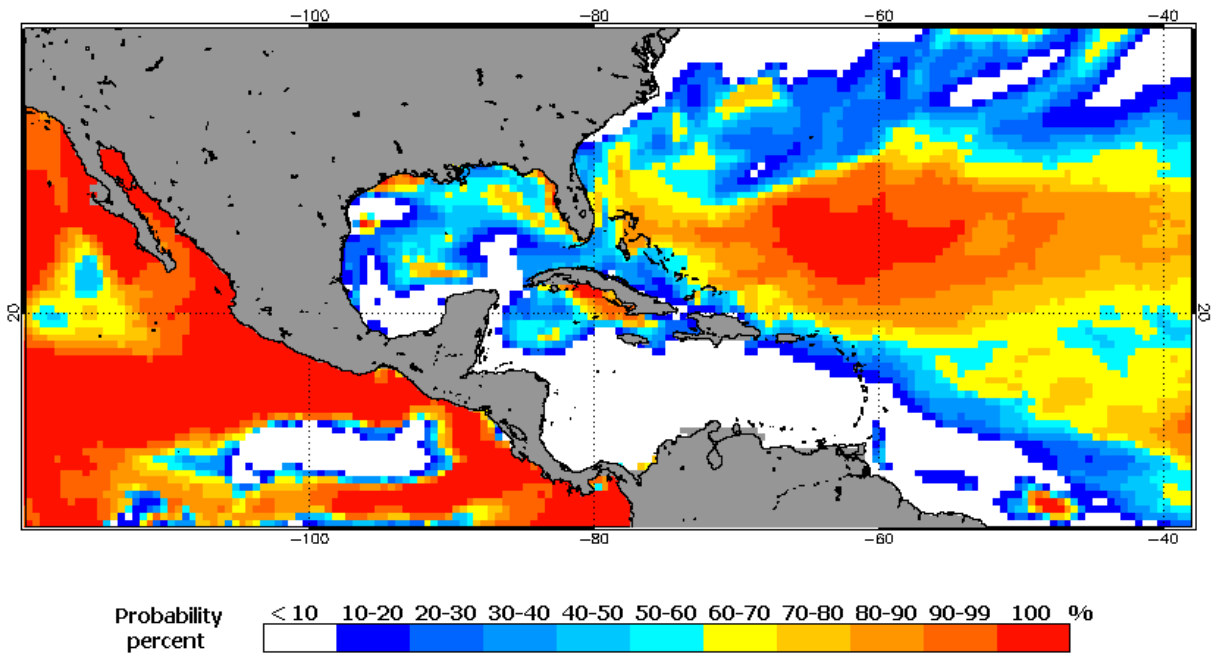


FIGURA 49. Proyección de probabilidad de emisión de una alerta de nivel 2 de blanqueamiento inminente de los corales en el Caribe para el período de julio a octubre de 2026. Accedido: 1 de julio de 2026.
 Fuente:
https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/bleachingoutlook_cfs/current_image/cur_cfsv2_prob-4mon_v5_alertlevel2_caribbean.gif

2026 Jun 30 NOAA Coral Bleaching Heat Stress Probabilities (Alert 1 & 2) for Jul–Oct
Experimental, v5.0, CFSv2–based, 28 to 112 Ensemble Members

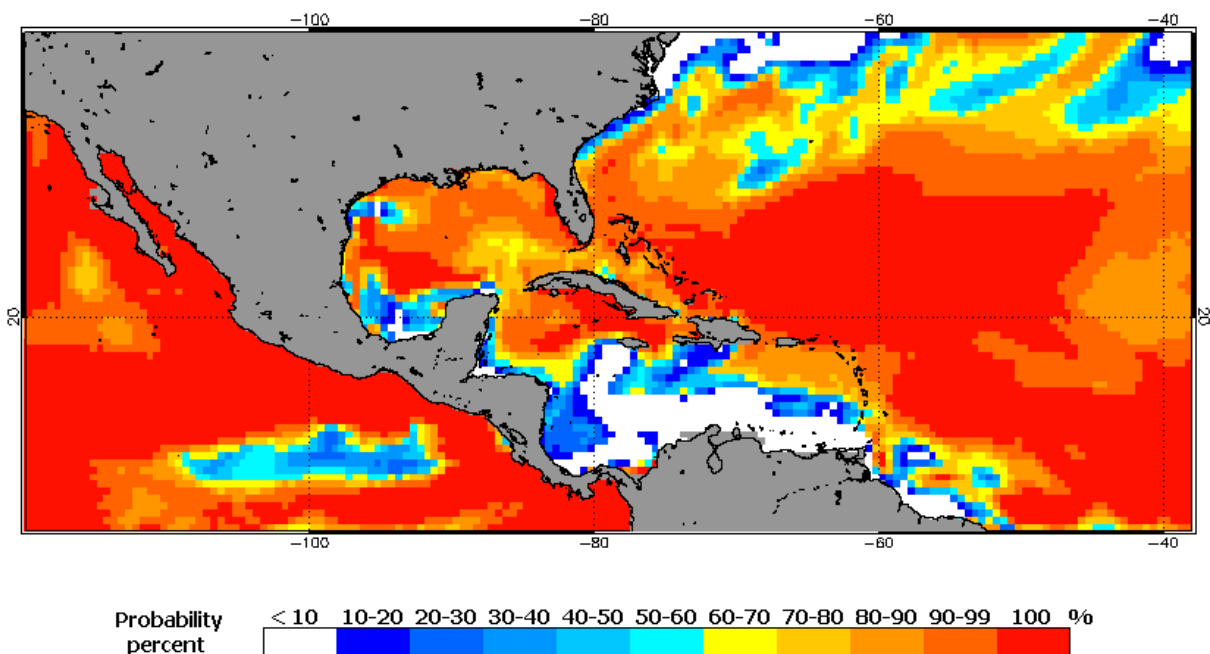


FIGURA 50. Proyección de probabilidad de emisión de una alerta de nivel 1 o 2 de blanqueamiento inminente de los corales en el Caribe para el período de julio a octubre de 2026. Accedido: 1 de julio de 2026. Fuente: https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/bleachingoutlook_cfs/current_image/cur_cfsv2_prob-4mon_v5_alertlevel1_caribbean.gif

El riesgo de alcanzar al menos un **aviso de blanqueamiento** de corales o mayor entre julio y octubre de 2026 es de 100% para la zona del Golfo de México y el Caribe, incluyendo a Puerto Rico, salvo la costa de Venezuela que llega apenas a 30 a 60% (Figura 51).

En la Figura 52 se proyecta que para el mismo período la probabilidad al menos de una emisión de una **vigilancia de blanqueamiento** o mayor entre julio y octubre de 2026 es también de 100% para la zona del Golfo de México y el Caribe, incluyendo a Puerto Rico, salvo la costa de Venezuela que llega apenas a 30 a 60%.

2026 Jun 30 NOAA Coral Bleaching Heat Stress Probabilities (Watch & Higher) for Jul–Oct
 Experimental, v5.0, CFSv2–based, 28 to 112 Ensemble Members

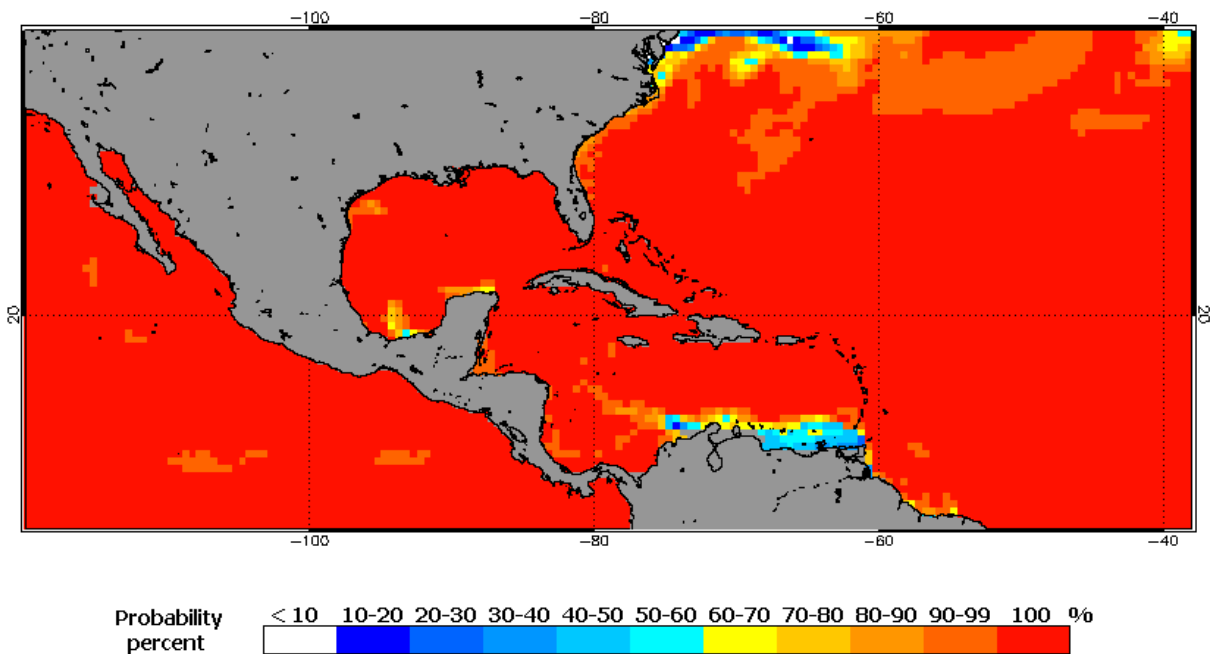


FIGURA 51. Proyección de probabilidad de emisión de al menos un aviso o mayor de blanqueamiento inminente de los corales en el Caribe para el período de julio a octubre de 2026. Accedido: 1 de julio de 2026. Fuente: https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/bleachingoutlook_cfs/current_image/cur_cfsv2_prob-4mon_v5_warning_caribbean.gif

2026 Jun 30 NOAA Coral Bleaching Heat Stress Probabilities (Watch & Higher) for Jul–Oct
 Experimental, v5.0, CFSv2–based, 28 to 112 Ensemble Members

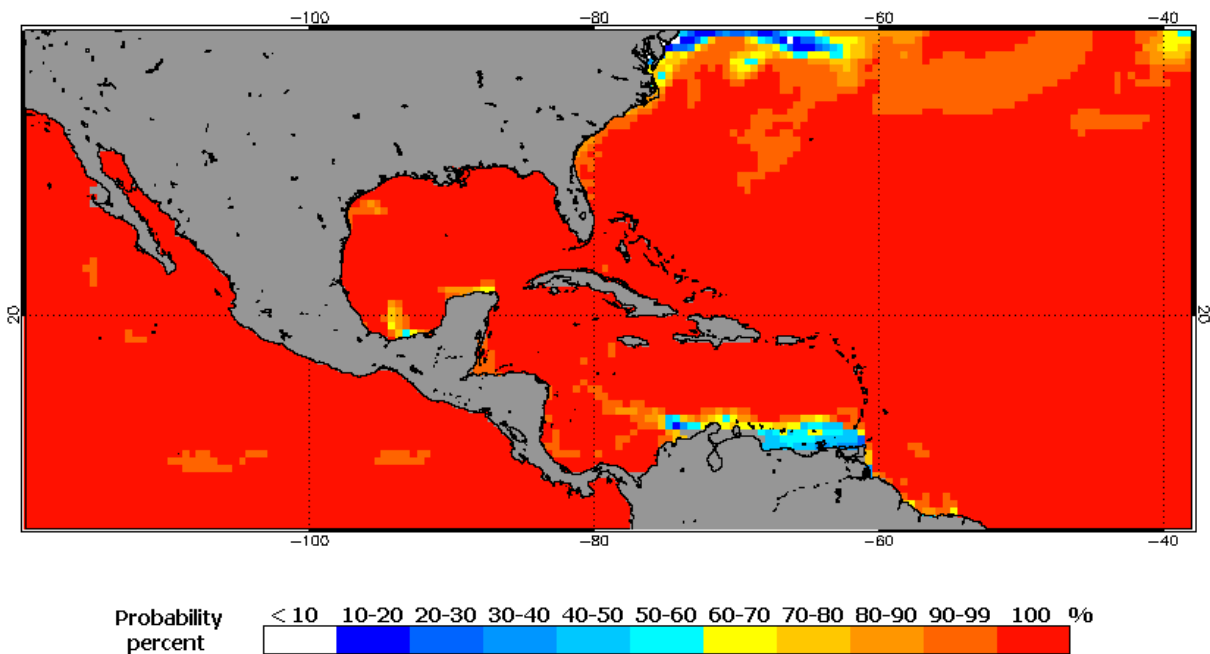


FIGURA 52. Proyección de probabilidad de emisión de al menos una vigilancia o mayor de blanqueamiento inminente de los corales en el Caribe para el periodo de julio a octubre de 2026. Accedido: 1 de julio de 2026. Fuente: https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/bleachingoutlook_cfs/current_image/cur_cfsv2_prob-4mon_v5_watch_caribbean.gif

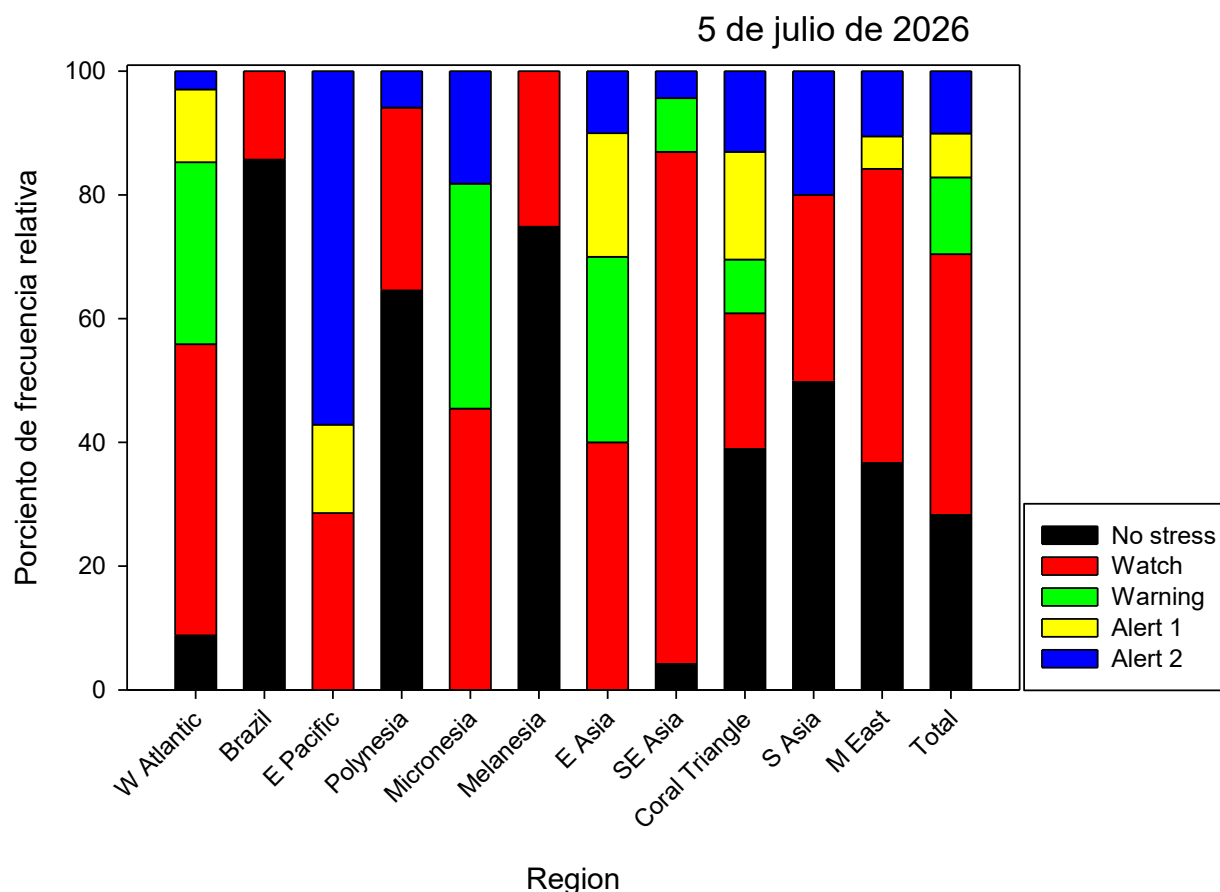


FIGURA 53. Clasificación de riesgos de blanqueamiento de corales a través de 11 regiones del planeta (N=169 estaciones de monitoreo de temperatura del agua. Fuente: <https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs/data.php> (accedido: 18 de mayo de 2026).

Region	No stress	Watch	Warning	Alert 1	Alert 2
W Atlantic	8.82	47.06	29.41	11.76	2.94
Total	28.40	42.01	12.43	7.10	10.06

La Figura 53 resume los riesgos de blanqueamiento de corales a finales de junio de 2026 para un total de 169 localidades a través de 11 regiones biogeográficas a escala global, según documentado por el CRWP de NOAA. Este análisis refleja que para entonces 28.4% de las estaciones de monitoreo de temperatura del mar del hemisferio norte del planeta que no mostraban ningún tipo de estrés térmico, pero 71.6% tenían algún grado de estrés. De estas últimas, 42% se encontraban bajo una **vigilancia de blanqueamiento**, 12.4% estaban bajo **aviso de blanqueamiento**, 7.1% bajo **alerta 1 de blanqueamiento** y 10.1% bajo **alerta 2 de blanqueamiento**. Esta última cifra se ha triplicado en apenas un mes. Para la región del oeste del Atlántico, durante mediados de mayo de 2026 el 8.8% no mostraban aún estrés térmico, 47.1% estaban bajo **vigilancia de blanqueamiento**, 29.4% estaban bajo **aviso de blanqueamiento**, 11.8% estaban bajo **alerta 1 de blanqueamiento**, y 3% bajo **alerta 2 de blanqueamiento**. Estos resultados sugieren un incremento espacial significativo en el impacto del calor extremo.

XI. Extensión batimétrica de las capas de aguas cálidas en el Atlántico tropical y el Caribe

La Figura 54 ilustra la extensión espacial y batimétrica (profundidad) a través del Caribe y del Atlántico tropical del contenido de calor acumulado en el océano a finales de junio de 2026, medido en kilojulios por cm^{-2} . La mitad este del Océano Atlántico tropical apenas evidenció contenidos de calor iguales o menores a 10 kJ cm^{-2} . Sin embargo, la zona entre el centro del Atlántico tropical y las Antillas Menores presentaron fluctuaciones de 25 a 75 kJ cm^{-2} . Alrededor de Puerto Rico se observaron contenidos de calor entre 50 y 75 kJ cm^{-2} . Al oeste del Caribe los valores apenas alcanzaban 100 a 150 kJ cm^{-2} , mostrando un aumento rápido. El Golfo de México mostraba algunas fluctuaciones, mientras que la zona de convergencia intertropical frente a las costas de África muestra contenidos de calor aproximadamente de 30 a 80 kJ cm^{-2} . Al presente, la anomalía de contenido de calor oceánico en la zona de máximo desarrollo ciclónico del Atlántico tropical (MDR, por sus siglas en inglés) evidencia condiciones de neutralidad.

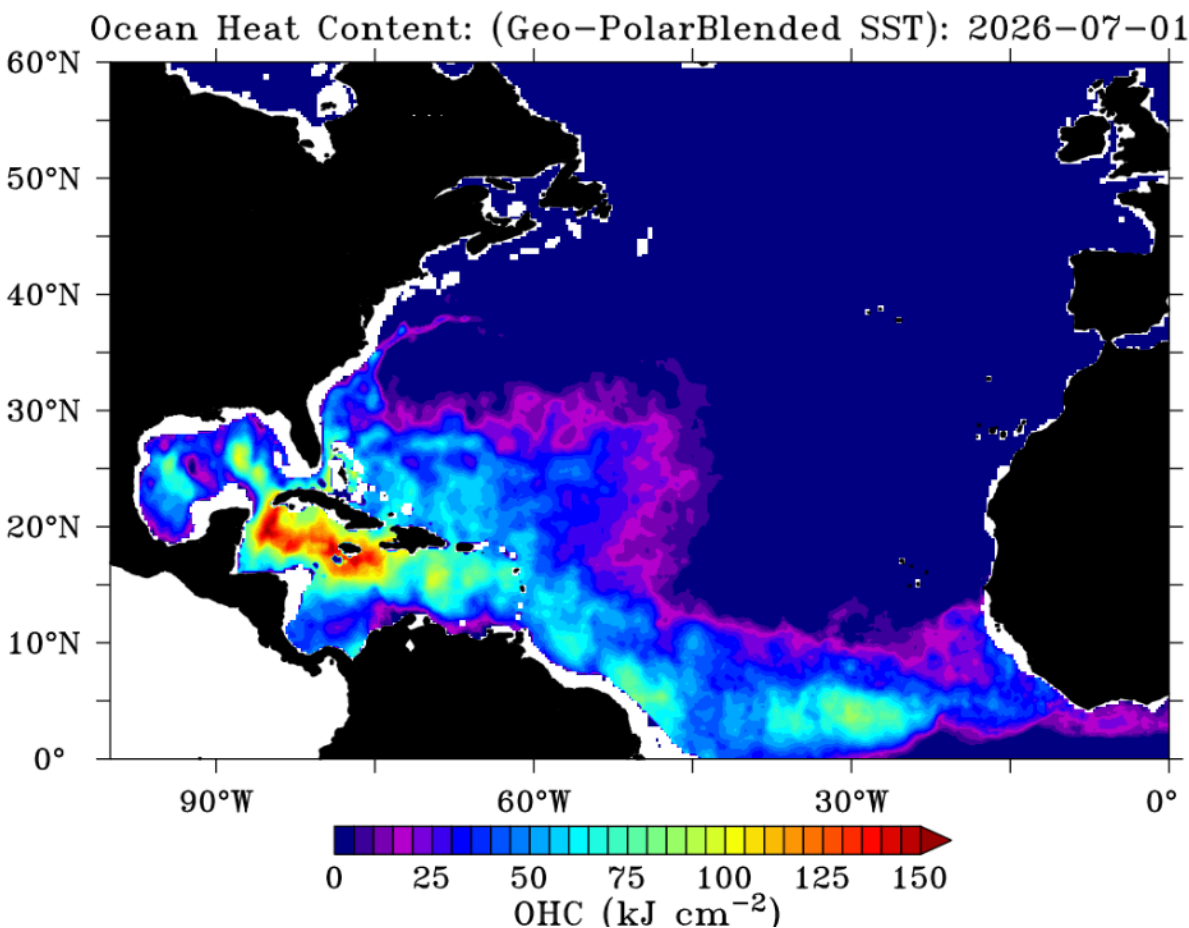


FIGURA 54. Extensión espacial del contenido de calor del océano a finales de junio de 2026. Fuente: <https://www.ospo.noaa.gov/Products/ocean/ohc/> (accedido: 1 de julio de 2026).

El aumento del contenido de calor del océano se refiere a la acumulación de energía térmica en el océano a lo largo del tiempo. Esto ocurre cuando el océano absorbe más energía del sol debido a factores

como el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera y los cambios en las corrientes oceánicas. El proceso también puede acelerarse durante eventos como el fenómeno de El Niño, tal y como el observado entre 2023 y 2024. Cuando el océano absorbe más energía térmica, puede tener impactos significativos en el medio ambiente y el sistema climático. Aquí están algunos ejemplos:

Aumento del nivel del mar: a medida que el océano se calienta, el agua se expande y el nivel del mar aumenta. Esto puede conducir a inundaciones y erosión costeras en algunas localidades bajas, lo que puede tener impactos significativos en las comunidades costeras.

Impactos en los ecosistemas marinos: el aumento en el contenido de calor del océano también puede tener impactos significativos en los ecosistemas marinos, incluidos los arrecifes de coral y otras especies marinas sensibles. Por ejemplo, el aumento de la temperatura del océano puede provocar el blanqueamiento de los corales, lo que a largo plazo puede tener un impacto significativo en la biodiversidad marina.

Ciclos de retroalimentación: el aumento en el contenido de calor del océano también puede dar lugar a ciclos de retroalimentación positivos, en los que el aumento de la temperatura de los océanos puede conducir a un mayor calentamiento de la atmósfera y los océanos.

Por lo tanto, monitorear y comprender los cambios en el contenido de calor del océano es importante para predecir y gestionar los impactos del cambio climático en el medio ambiente y los sistemas humanos.

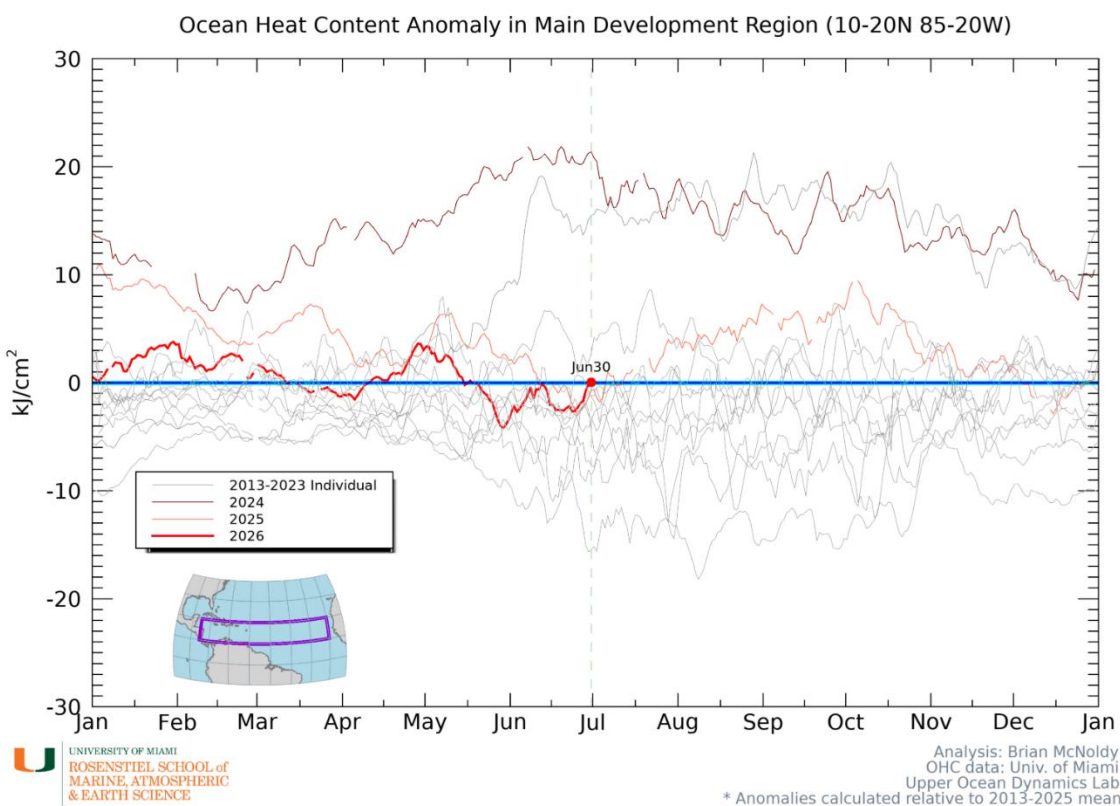


FIGURA 55. Anomalía del contenido de calor oceánico para el Atlántico tropical y el Caribe. (accedido: 1 de julio de 2026). Fuente: https://bmcnoldy.earth.miami.edu/tropics/ohc/ohc_mdr_anom.png

La zona del Caribe (Figura 56) evidenciaba a final de junio de 2026 una anomalía ligeramente positiva (+5 kJ/cm²), mientras que la zona del Atlántico tropical este (Figura 57) mostraba una anomalía ligeramente negativa (-2 kJ/cm²). La zona del Golfo de México igualmente presentaba una anomalía leve negativa con -6 kJ/cm² (Figura 58). Se anticipa que estos valores van a aumentar gradualmente durante el resto del verano, particularmente, en función del desarrollo, extensión y magnitud de la evolución de El Niño.

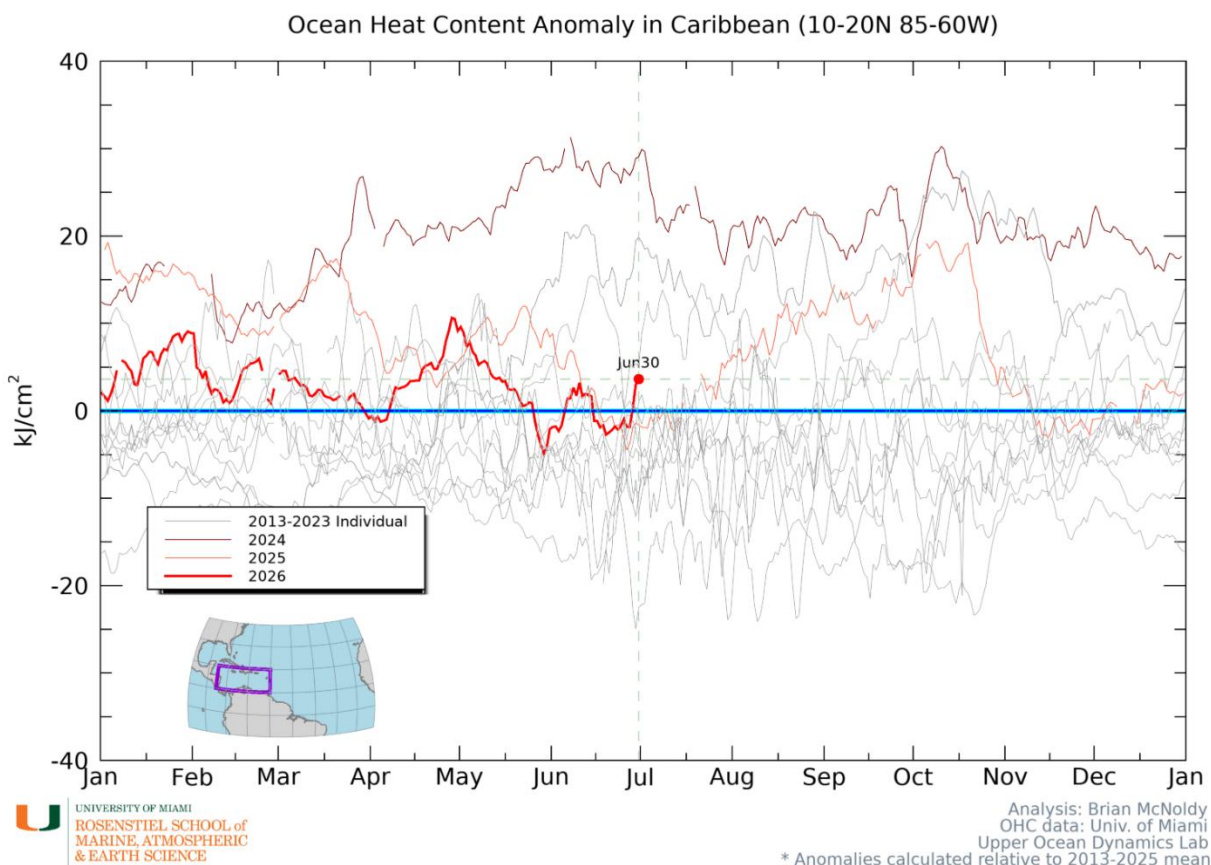
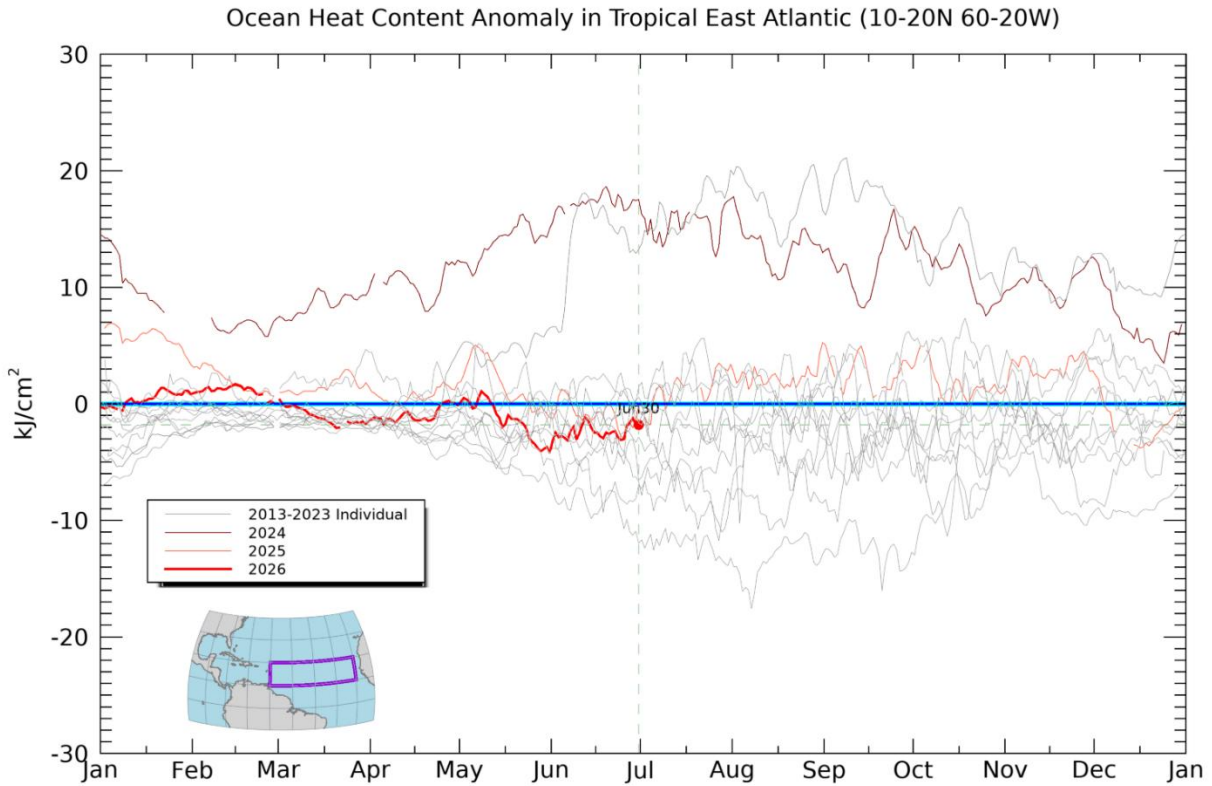


FIGURA 56. Anomalía del contenido de calor oceánico para el Caribe. (accedido: 1 de julio de 2026). Fuente: https://bmcnoldy.earth.miami.edu/tropics/ohc/ohc_carib_anom.png

Un aumento significativo en el contenido de calor oceánico pudiera tener implicaciones críticas en aumentar la escala espacial y prevalencia de las olas de calor marino, el potencial de desarrollo de blanqueamiento masivo de los corales y el potencial de desarrollo ciclónico, inclusive, de acelerar el potencial de intensificación rápida durante los ciclones. Así mismo, esto puede tener otras implicaciones en la dinámica oceanográfica regional como el aumentar la disolución del oxígeno disuelto, alterar la capacidad natural de mezcla de las diversas capas de agua, contribuyendo a la estratificación oceánica y a afectar el intercambio de gases (oxigenación) de las capas medias y profundas del mar, potencialmente afectando la productividad primaria neta del océano y la circulación termohalina. Las implicaciones a largo plazo de cualquier anomalía positiva significativa en el contenido de calor del océano pueden ser muy amplias y es algo a lo cual hay que prestar atención en el futuro.



UNIVERSITY OF MIAMI
ROSENSTIEL SCHOOL of
MARINE, ATMOSPHERIC
& EARTH SCIENCE

Analysis: Brian McNoldy
OHC data: Univ. of Miami
Upper Ocean Dynamics Lab
* Anomalies calculated relative to 2013-2025 mean

FIGURA 57. Anomalía del contenido de calor oceánico para el este del Atlántico tropical. (accedido: 1 de julio de 2026). Fuente: https://bmcnoldy.earth.miami.edu/tropics/ohc/ohc_east_anom.png

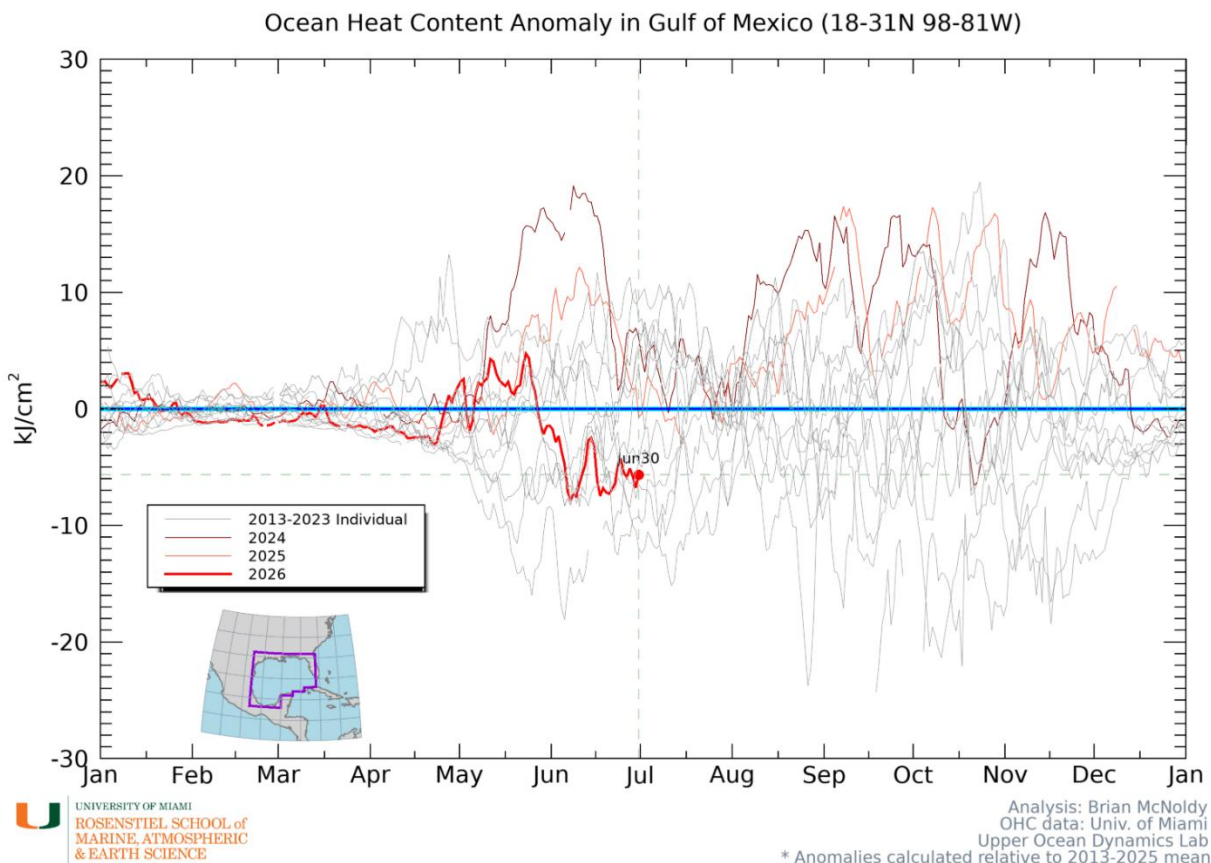


FIGURA 58. Anomalía del contenido de calor oceánico para el Golfo de México. (accedido: 1 de julio de 2026).
Fuente: https://bmcnoldy.earth.miami.edu/tropics/ohc/ohc_gulf_anom.png

La Figura 59 ilustra las variaciones en la extensión espacial de la profundidad de la capa mixta del agua del mar a través del Mar Caribe y del Atlántico tropical a finales de junio de 2026. A través del Caribe, la capa mixta alcanzó profundidades de entre 50 y 80 m, pero ya al sur de Jamaica esta alcanza 80 a 90 m. Alrededor de Puerto Rico la capa mixta promedió 35 a 50 m. A través del Atlántico tropical alcanzaba para el mismo período un promedio de 50 a 70 m en su parte central, pero <30 m frente a las costas de Brasil.

La profundidad de la capa mixta del océano es la profundidad de la capa superior del océano donde las propiedades del agua, como la temperatura, la salinidad y la densidad, están bien mezcladas por la turbulencia natural superficial y otros procesos físicos. Es la capa del océano donde la mezcla vertical del agua es suficiente aun para crear una uniformidad de propiedades, y normalmente se define como la profundidad donde la temperatura desciende en cierta cantidad (normalmente 0.5°C) desde la temperatura de la superficie del mar.

La profundidad de la capa mixta varía según factores como la estación del año, la latitud, las condiciones del viento y las olas, y la cantidad de radiación solar que absorbe el océano. En general, la capa de mezcla es menos profunda en los trópicos y más profunda en las latitudes más altas, donde el forzamiento atmosférico es más fuerte. Pero de ocurrir cualquier fenómeno inusual asociado al calentamiento del mar, entonces, el mar puede absorber más calor con mayor rapidez, resultando en un hundimiento de la capa mixta.

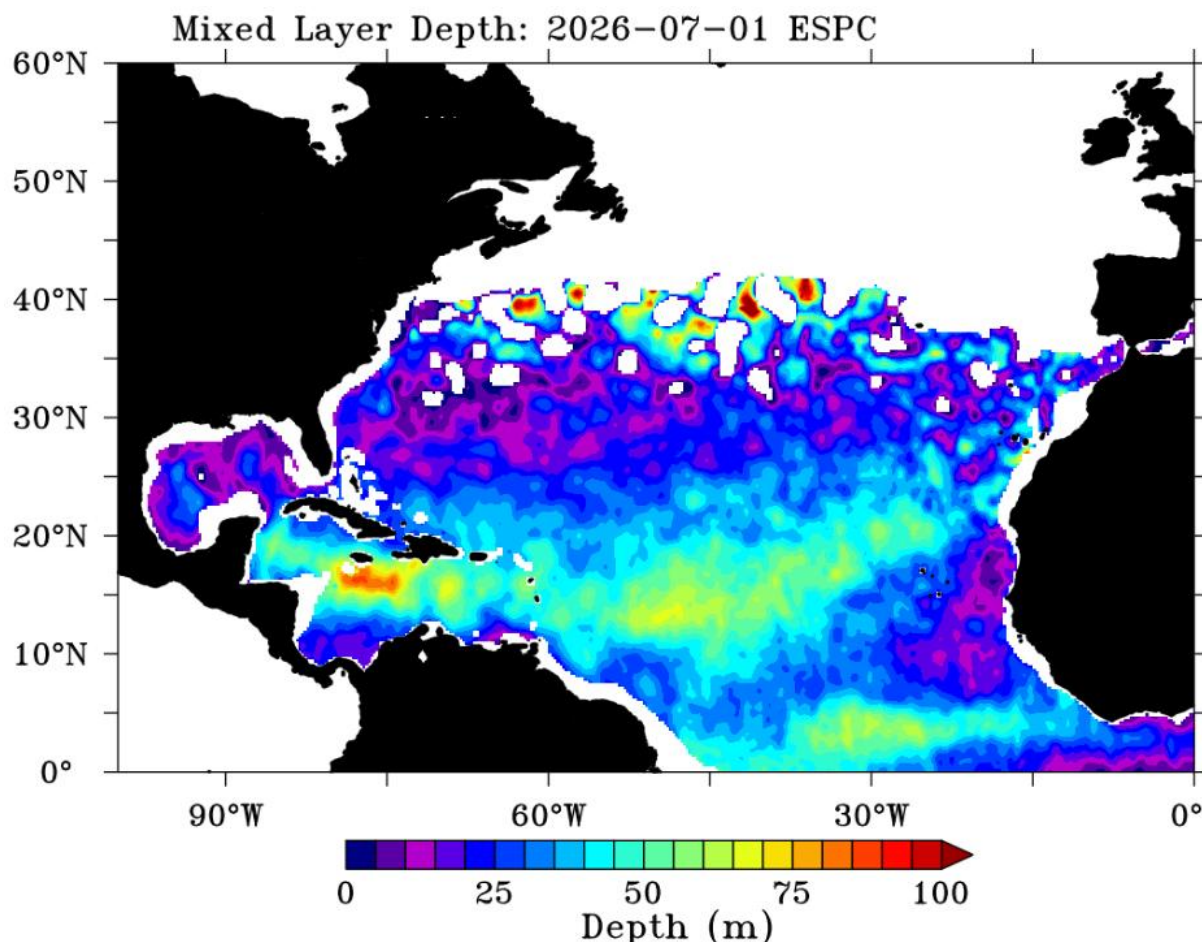


FIGURA 59. Variación en la extensión espacial de la profundidad de la capa mixta del océano. Fuente: <https://www.ospo.noaa.gov/Products/ocean/ohc/> (accedido: 1 de julio de 2026).

La profundidad de la capa mixta es un parámetro importante para comprender y modelar la dinámica oceánica y la variabilidad climática. Afecta el intercambio de calor, dióxido de carbono y otros gases entre la atmósfera y el océano, y juega un papel clave en la regulación de la temperatura de la superficie del mar y los patrones de circulación oceánica. Por lo tanto, los cambios en la profundidad de la capa mixta pueden tener impactos significativos en los ecosistemas marinos, los patrones climáticos y el clima global.

La Figura 60 muestra la extensión espacial de la profundidad de la isoterma oceánica de 26°C a finales de junio de 2026. El centro y el este del Caribe promediaba de 70 a 100 m, aunque algunas zonas al sur de Jamaica alcanzaban 150 m. Mientras que al norte de Puerto Rico promediaba de 60 a 80 m, y al sur de 70 a 100 m. Al oeste del Caribe promediaba aproximadamente 80 a 125 m. La mayoría del Golfo de México apenas promediaba de 25 a 50 m, con algunas zonas menores con 70 a 80 m. El promedio en el Atlántico tropical fue menor de 25 m, pero frente a las costas de Brasil fue de 60 a 80 m. La isoterma oceánica de 26°C se refiere al límite de los océanos tropicales donde la temperatura de la superficie del mar es igual o superior a 26°C (78.8°F). Esta isoterma se usa a menudo como umbral para identificar áreas donde las condiciones son favorables para la formación e intensificación de los huracanes.

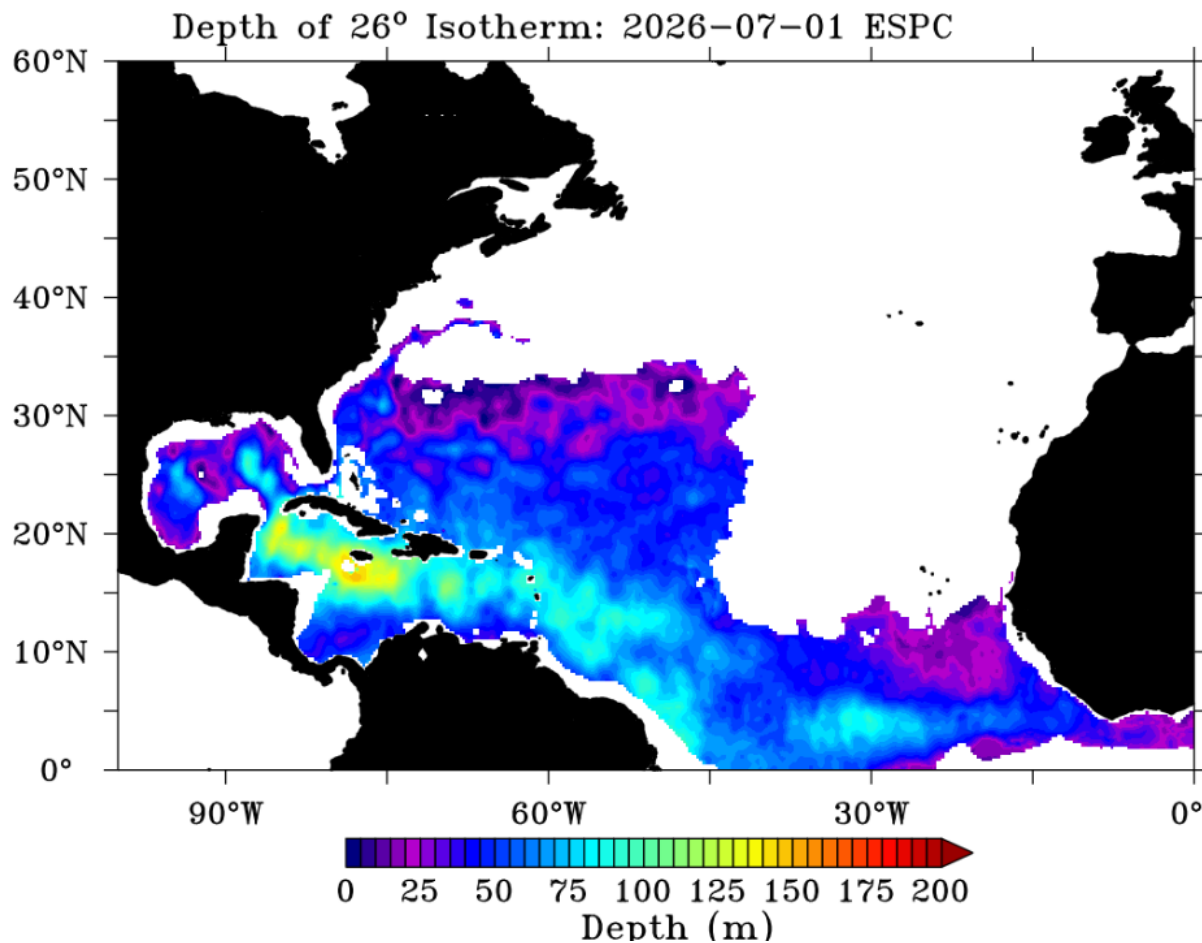


FIGURA 60. Variación en la extensión espacial de la profundidad de la isoterma oceánica de 26°C. Fuente: <https://www.ospo.noaa.gov/Products/ocean/ohc/> (accedido: 1 de julio de 2026).

La isoterma oceánica de 26°C es importante porque los ciclones tropicales requieren aguas oceánicas cálidas para formarse y fortalecerse. El agua cálida del océano proporciona la energía que impulsa la tormenta, y cuanto mayor sea la diferencia de temperatura entre la superficie del océano y la atmósfera superior, más fuerte puede volverse la tormenta. Se considera que el umbral de 26°C en la superficie del mar es la temperatura mínima necesaria para que se forme un ciclón tropical, aunque también son importantes otros factores, como la inestabilidad atmosférica y la baja cizalladura del viento, lo que también se conoce como vientos cortantes (“windshear”). Al ocurrir un calentamiento acelerado y sostenido de la atmósfera, el océano comienza a absorber mayor calor, causando que se extienda a mayor profundidad la isoterma de 26°C. Esto usualmente ocurre ya para el verano tardío en la temporada ciclónica del Atlántico (agosto a octubre). El calentamiento anormal de la superficie del mar puede contribuir a que la isoterma de 26°C alcance profundidades mayores más temprano en el año, tal y como se pudo observar durante el 2023y el 2024.

La isoterma de 26°C se usa a menudo junto con otros datos oceanográficos y meteorológicos para ayudar a predecir la probabilidad de formación de ciclones tropicales y rastrear sus movimientos. También se utiliza en estudios climáticos para monitorear cambios en las temperaturas del océano e identificar

áreas donde las condiciones climáticas pueden volverse más favorables para la formación de ciclones tropicales.

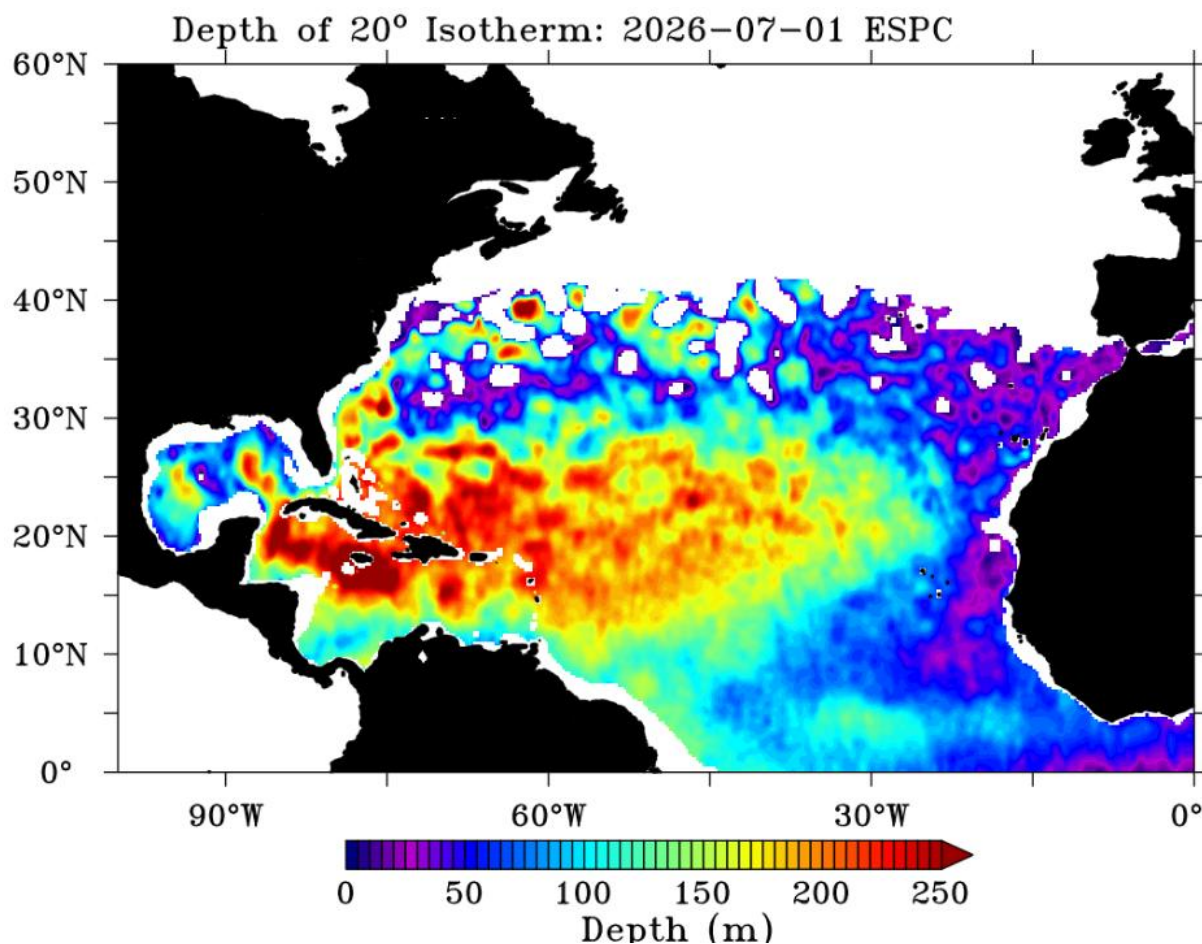


FIGURA 61. Variación en la extensión espacial de la profundidad de la isoterma oceánica de 20°C. Fuente: <https://www.ospo.noaa.gov/Products/ocean/ohc/> (accedido: 1 de julio de 2026).

La Figura 61 muestra la extensión espacial de la profundidad de la isoterma oceánica de 20°C. A través del norte del Caribe promediaba a final de junio de 2026 de 170 a >250 m. Alrededor de Puerto Rico fluctuaba entre unos 170 a 230 m. A través de la parte oeste del Atlántico tropical dicha isoterma alcanzaba de 140 a >250 m, pero en la parte este era de 150 a 230 m. En el Golfo de México se observaron oscilaciones muy grandes, con tramos <25 m y tramos >200 m. El este del Atlántico tropical mostraba variaciones de <25 a 100 m, aproximadamente.

La isoterma oceánica de 20°C se refiere al límite en los océanos donde la temperatura de la superficie del mar es igual o superior a 20°C (68°F). Esta isoterma se utiliza a menudo como umbral para identificar los límites de las masas de agua cálida en verano y fría en invierno en los océanos.

En los océanos Atlántico Norte y Pacífico Norte, la isoterma de 20°C se usa típicamente para delinear el límite entre los giros subtropical y subpolar. Los giros subtropicales son regiones del océano caracterizadas por altas temperaturas en la superficie del mar, bajas concentraciones de nutrientes y baja productividad biológica, mientras que los giros subpolares son regiones del océano caracterizadas por

bajas temperaturas en la superficie del mar, altas concentraciones de nutrientes y alta productividad biológica. En el Océano Austral, la isoterma de 20°C se utiliza para separar la Corriente Circumpolar Antártica de las aguas más cálidas del norte. Esta corriente juega un papel crucial en la regulación de la circulación oceánica global y el clima.

En general, la isoterma oceánica de 20°C es una herramienta importante para que los oceanógrafos y científicos del clima estudien la distribución del calor, los nutrientes y la productividad biológica en los océanos. Una expansión muy profunda de la isoterma oceánica de 20°C puede tener implicaciones muy importantes en el intercambio de gases y nutrientes de las diversas capas oceánicas, también en el afloramiento de nutrientes y de oxígeno disuelto hacia la superficie. Los cambios en la ubicación o la fuerza de esta isoterma pueden tener impactos significativos en los ecosistemas marinos y el clima global, incluyendo la generación de huracanes, cambios en la productividad del plancton, en el rendimiento de la pesca y en los patrones de blanqueamiento de los corales. Fenómenos como El Niño pueden magnificar dichos efectos.

La naturaleza sin precedentes de extensión geográfica y de profundidad de la capa mixta y de las isotermas de 26°C y de 20°C en años recientes sugieren varios fenómenos. El ensanchamiento de la capa mixta y de ambas isotermas, como consecuencia del calentamiento del mar, puede tener varias consecuencias importantes:

1. *Cambios en los patrones climáticos:* El calentamiento del mar puede alterar los patrones climáticos regionales y globales al afectar la circulación atmosférica y los sistemas climáticos. Con la evolución rápida de las condiciones de La Niña durante el 2024, esto puede tener como consecuencia a nivel del Atlántico tropical y del Caribe un aumento sustancial en la generación de ciclones tropicales.
2. *Impacto en la vida marina:* El aumento de la temperatura del agua y el ensanchamiento de la capa mixta pueden afectar a la vida marina, incluyendo la distribución y migración de especies, la reproducción y la disponibilidad de alimentos. Esto también puede contribuir a alterar las dinámicas de nutrientes, particulado orgánico, detrito, concentración de oxígeno disuelto, la composición de los microbiomas, la productividad primaria y otras características oceanográfica vitales para el sostenimiento de los ecosistemas.
3. *Cambio en la productividad biológica:* El calentamiento del mar puede afectar la productividad biológica al cambiar las condiciones físicas y químicas del agua, lo que a su vez puede tener efectos en cascada en las redes alimentarias marinas, en la productividad de las pesquerías y por ende en la seguridad alimentaria de numerosas regiones del planeta.
4. *Incremento del nivel del mar:* El calentamiento del mar también puede contribuir al aumento del nivel del mar debido a la expansión térmica del agua, en combinación con el derretimiento de los glaciares y casquetes polares.
5. *Impacto en la atmósfera:* Los cambios en la temperatura y la circulación del agua pueden tener efectos en la atmósfera, incluyendo la modificación de la humedad y la formación de nubes, lo que a su vez puede influir en el clima terrestre.
6. *Aumento en las tasas de evaporación del agua:* El aumento en la temperatura del mar se traduce en mayor energía potencial. Esto tiene como consecuencia un aumento en las tasas de

evaporación de agua, contribuyendo a aumentar significativamente la humedad atmosférica y aumentando los riesgos de precipitaciones pluviales, en ocasiones, extrema. Esto también puede contribuir a potenciales aumentos en los riesgos de formación de sistemas tropicales de circulación ciclónica.

7. *Aumento en las tasas de intensificación ciclónica:* La presencia de capas amplias de aguas cálidas en los océanos también, en el caso de la formación de ciclones tropicales, contribuyen en muchas ocasiones a aumentar las tasas de evaporación y a la transferencia de energía potencial del mar hacia la atmósfera. Esto contribuye a aumentar en muchas ocasiones las tasas de intensificación de las tormentas tropicales, lo que resulta en la formación de huracanes intensos. En algunas ocasiones esto causa incrementos significativos (>100 kt vientos) en períodos de 24 horas o menos.

En resumen, el ensanchamiento gradual de la capa mixta y de la isoterma de 26°C y de 20°C como resultado el calentamiento del mar puede tener consecuencias significativas adversas sobre los ecosistemas marinos, la productividad primaria de los océanos, sus patrones de circulación, el clima y el medio ambiente en general. Esto también contribuye a aumentar gradualmente el riesgo de condiciones de blanqueamiento de corales. Este es un parámetro muy importante para monitorearlo diariamente, particularmente, por la influencia que pudiera tener el desarrollo gradual de El Niño.

XII. Proyección de largo plazo del índice de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y su influencia en el Caribe

La Figura 62 ilustra la proyección desarrollada por el modelo climático europeo (ECMWF EPS), el cual sugiere condiciones predominantes con un índice positivo de la circulación de vientos conocida como la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, por sus siglas en inglés) la mayor parte del tiempo entre el período comprendido entre el 29 de junio y el 13 de agosto de 2026. A partir del 11 de julio aproximadamente y hasta al menos el final del período de pronóstico se anticipa un índice con valores ligeros o significativamente negativos. Se anticipa que, de concretarse la predicción de dicho modelo, podría disminuir de forma notable el patrón sostenido de vientos alisios fuertes del este por cerca de cuatro semanas durante junio, así como potencialmente el oleaje, lo que podría propiciar condiciones conducentes aun a un calentamiento gradual adicional del mar alrededor del centro y el este del Caribe durante dicho período. Esto podría conducir a alcanzar condiciones de al menos un **aviso de blanqueamiento** o la posibilidad de alcanzar una **alerta 1 de blanqueamiento** de corales en la región este del Caribe y Puerto Rico. Dichas condiciones van a coincidir con condiciones muy calientes y secas, lo que puede llevar a una ola de calor marino que pueda agravar los riesgos para los corales.

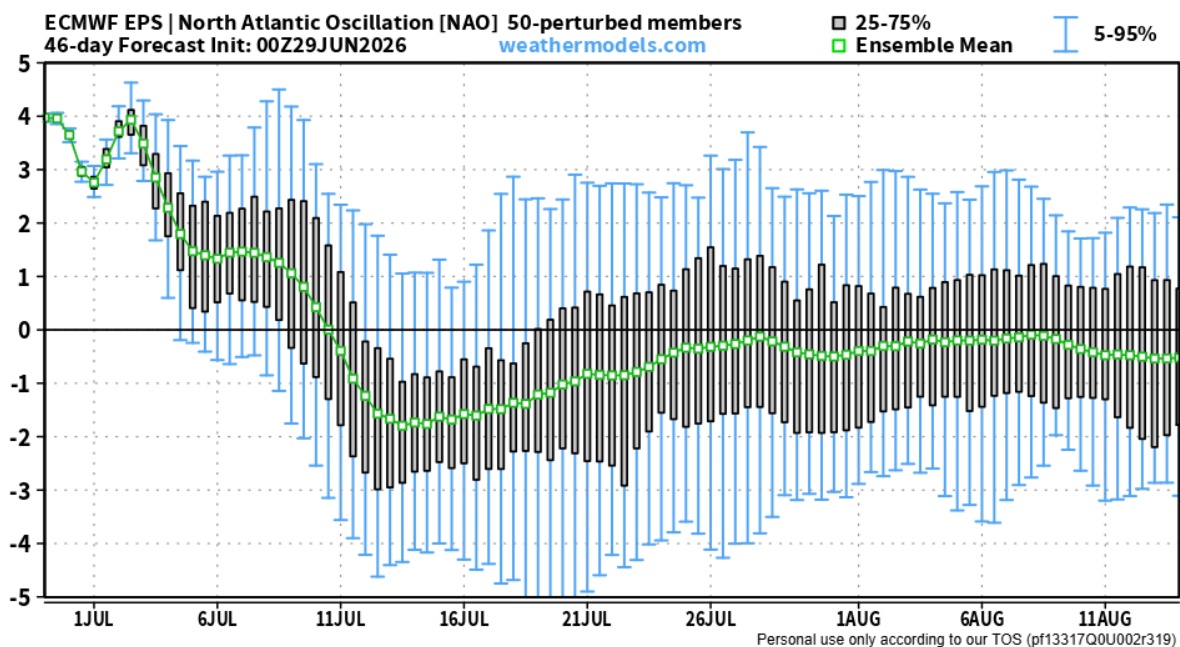


FIGURA 61. Oscilación del Atlántico Norte (NAO) para el período del 29 de junio al 13 de agosto de 2026 de acuerdo con el European Climate Model Weather Forecasting (ECMWF EPS) (accedido: 1 de julio de 2026).

Los efectos de un índice positivo del NAO en los vientos alisios a través del Caribe son variados.

1. *Aumenta la presión atmosférica* – Durante las fases positivas del NAO, se produce un aumento en la presión atmosférica sobre el océano Atlántico, lo que puede intensificar los vientos alisios. A su vez, eso contribuye a aumentar la probabilidad de mezcla de las capas de agua en el océano, reduciendo los riesgos de calentamiento rápido.
2. *Alterar los patrones de circulación regional en el Caribe* – Un índice positivo de la NAO está asociado con cambios en los patrones de circulación atmosférica, que pueden fortalecer los vientos alisios del este, que son predominantes en la región del Caribe.
3. *Impacta el clima regional* – Estos vientos alisios más intensos pueden influir en las condiciones climáticas del Caribe, afectando la temperatura del agua y la precipitación, ya que arrastra capas de aire seco y polvo del desierto del Sahara hacia la zona del Caribe, en consecuencia, puede tener impactos la salud de los ecosistemas marinos.

Un índice NAO negativo, por su parte, puede tener varias consecuencias en el Caribe:

1. *Condiciones climáticas secas* – Un NAO negativo puede llevar a un patrón de sequía, afectando la disponibilidad de agua y la agricultura.

2. *Aumento de temperaturas* – Puede contribuir a temperaturas más cálidas en la región como consecuencia de la reducción en la mezcla de las capas de agua, lo que afecta la salud de los ecosistemas marinos, incluidos los corales.
3. *Cambio en los patrones de huracanes* – Puede influir en la frecuencia y la intensidad de los huracanes, potencialmente aumentando la actividad ciclónica.
4. *Impacto en la pesca* – Cambios en las corrientes y temperaturas pueden afectar la migración de especies marinas, impactando la pesca local.

XIII. Síntesis y conclusiones

La evidencia oceanográfica y climatológica analizada en este boletín indica que Puerto Rico y el Caribe continúan bajo un contexto regional de alta vulnerabilidad ante eventos recurrentes de calor extremo marino, olas de calor marino y blanqueamiento masivo de corales. Aunque a comienzos del periodo evaluado el sistema ENSO todavía mostraba condiciones neutrales, la información actualizada al 1 de julio de 2026 confirma una transición rápida hacia el desarrollo de El Niño durante el verano de 2026, con alta probabilidad de persistencia hacia finales de 2026 e inicios de 2027. Este escenario aumenta la preocupación regional, dado que El Niño puede favorecer cambios en los vientos alisios, la mezcla vertical, la nubosidad, la precipitación y la acumulación de calor superficial en el océano.

Uno de los hallazgos más importantes del boletín es que el Pacífico tropical ya muestra señales claras de calentamiento, incluyendo anomalías térmicas superficiales y subsuperficiales, así como un aumento sostenido del contenido de calor oceánico en los primeros 300 m de profundidad. Estas condiciones son consistentes con la intensificación de El Niño y pueden modular la evolución climática regional durante los próximos meses. Sin embargo, el riesgo para Puerto Rico no depende únicamente del ENSO. También depende del trasfondo térmico del Atlántico tropical y del mar Caribe, la intensidad de los vientos alisios, la mezcla vertical de la columna de agua, la nubosidad, los eventos de enfriamiento temporal, la circulación regional y la duración acumulada del estrés térmico.

El análisis documenta que durante mayo de 2026 se observaba una ola de calor marina extensa desde el Atlántico tropical hacia el Caribe, afectando sectores alrededor de Puerto Rico. A finales de junio de 2026, dicha ola de calor marina mostró una reducción parcial en extensión e intensidad en el Caribe, incluyendo una disminución temporal del estrés térmico alrededor de Puerto Rico. No obstante, esta reducción no debe interpretarse como eliminación del riesgo. El periodo de mayor preocupación para Puerto Rico y el noreste del Caribe continúa siendo el verano tardío y el otoño, cuando históricamente puede acumularse el mayor estrés térmico conducente a blanqueamiento.

El riesgo ecológico para los arrecifes no debe evaluarse solamente a partir de la temperatura máxima observada, sino a partir de la duración acumulada del estrés térmico. El indicador *Degree Heating Weeks* (DHWs) resulta crítico para interpretar ese riesgo, ya que integra la intensidad y persistencia del calor por encima del umbral de blanqueamiento. Valores cercanos a 4 DHWs se asocian con blanqueamiento significativo, mientras que valores mayores de 8 DHWs indican alta probabilidad de blanqueamiento severo y mortalidad, especialmente en especies sensibles, colonias debilitadas, viveros in situ y arrecifes con historial reciente de degradación.

Puerto Rico y el Caribe ya vienen de una secuencia reciente de eventos térmicos severos. En 2023 se registró un evento histórico de blanqueamiento masivo asociado al calor extremo marino y al fortalecimiento de El Niño, alcanzando niveles de alerta sin precedentes y aproximadamente 19.1 DHWs. En 2024 ocurrió otro evento severo, alcanzándose una alerta 5 de blanqueamiento y aproximadamente 21.3 DHWs. Aunque 2025 fue menos severo, Puerto Rico y el noreste del Caribe alcanzaron nuevamente entre 11 y 12 DHWs, valores comúnmente asociados con condiciones muy severas de blanqueamiento y mortalidad significativa. Esta recurrencia reduce la ventana de recuperación de los arrecifes y aumenta la susceptibilidad de especies estructurales como *Acropora palmata* y *Acropora cervicornis*.

En conjunto, la evidencia sugiere que el 2026 debe manejarse como un año de vigilancia activa, preparación preventiva y respuesta adaptativa. Aunque el escenario actual no garantiza un evento catastrófico, sí existe una probabilidad real de un evento moderado a significativo de blanqueamiento si se combinan el desarrollo de El Niño, el calentamiento regional del Atlántico tropical, la reducción de la mezcla superficial, la persistencia de olas de calor marino y la acumulación progresiva de DHWs. Por tanto, la respuesta institucional no debe esperar a que se alcancen alertas severas. La planificación, el monitoreo y la mitigación de estresores locales deben comenzar desde etapas tempranas de vigilancia, particularmente en arrecifes prioritarios, zonas de restauración, reservas naturales, viveros de coral y localidades con historial reciente de alta mortalidad coralina.

La degradación de los arrecifes coralinos tiene implicaciones ecológicas y socioeconómicas significativas. La pérdida de cobertura coralina viva, la mortalidad de especies constructoras de arrecife, la reducción de la complejidad estructural y el aumento en macroalgas, cianobacterias u organismos oportunistas pueden afectar la provisión de hábitat, la crianza de especies marinas, la biodiversidad, la protección costera, las pesquerías, el turismo y la recreación marina. Esto aumenta la vulnerabilidad de comunidades costeras que dependen directa o indirectamente de arrecifes saludables para su seguridad, economía local, identidad cultural y protección natural frente al oleaje y marejadas.

La Sociedad Ambiente Marino (SAM) advierte al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA), municipios costeros, agencias concernidas, administradores de reservas naturales, practicantes de restauración ecológica, operadores turísticos, comunidades costeras y demás partes interesadas que deben activar o actualizar inmediatamente sus planes de contingencia ante posibles sorpresas ecológicas asociadas al calor extremo marino y al blanqueamiento coralino durante el verano y otoño de 2026.

1. Activar una respuesta preventiva desde la fase de vigilancia.

Se recomienda que el DRNA, los municipios costeros, manejadores de reservas naturales, organizaciones científicas, operadores de proyectos de propagación de corales y proyectos de restauración arrecifal activen protocolos preventivos antes de que se emitan alertas severas. El riesgo puede escalar durante verano–otoño de 2026, por lo que esperar hasta etapas avanzadas del evento podría reducir la efectividad de las respuestas. Debe mantenerse una vigilancia reforzada desde junio–julio y durante todo el periodo de mayor temperatura.

2. Fortalecer el monitoreo de arrecifes prioritarios.

Debe ampliarse el seguimiento de arrecifes representativos en las cuatro regiones geográficas principales de Puerto Rico, incluyendo arrecifes naturales, áreas restauradas, viveros de coral, reservas naturales y zonas de alto valor ecológico. El monitoreo debe documentar temperatura in situ, severidad de blanqueamiento, mortalidad parcial o total, pérdida de tejido vivo, prevalencia de enfermedades, cobertura de macroalgas y cianobacterias, sedimentación, turbidez y condición de colonias restauradas.

3. **Establecer umbrales de acción basados en alertas de NOAA-CRWP y acumulación de DHWs.**
Se recomienda adoptar un sistema operacional de respuesta escalonada. Este debe incluir vigilancia reforzada desde la etapa de “Vigilancia de blanqueamiento”, reducción de actividades estresantes desde “Aviso de blanqueamiento”, restricciones preventivas en áreas sensibles desde “Alerta 1” y acciones de emergencia para viveros, restauraciones y arrecifes prioritarios desde “Alerta 2” o superior. Además, la acumulación de DHWs debe utilizarse como indicador clave para activar medidas de manejo antes de que el daño sea irreversible.
4. **Reducir de inmediato los estresores locales.**
La mitigación local es esencial porque los corales bajo estrés térmico son más vulnerables a sedimentación, contaminación, contacto físico, enfermedades, eutroficación y daños por actividades recreativas. Deben reforzarse medidas de control de erosión y sedimentación, fiscalización de descargas ilegales, reducción de escorrentías urbanas, control de aguas usadas, manejo de desperdicios sólidos, prevención de contaminación en cuencas costeras y reducción de actividades que resuspendan sedimentos sobre arrecifes.
5. **Implementar medidas especiales en reservas naturales, áreas marinas protegidas y zonas de restauración.**
Debe aumentarse la vigilancia en reservas naturales, áreas marinas protegidas, zonas de restauración, viveros de coral, arrecifes sujetos a usos turísticos intensos y localidades de alto valor ecológico. También debe evaluarse la designación o activación de zonas de recuperación arrecifal al amparo de la Ley de Arrecifes de Coral, Ley Núm. 147-1999, según aplique, para aumentar la protección de áreas con viveros y restauración ecológica. Esto debe incluir fiscalización del anclaje, navegación en aguas someras, pesca destructiva, contacto directo con corales, uso inadecuado de embarcaciones y prácticas recreativas que puedan agravar el estrés térmico.
6. **Proteger viveros y proyectos de restauración coralina.**
Los viveros in situ y las colonias trasplantadas deben recibir atención prioritaria. Se recomienda reducir la manipulación innecesaria de corales durante periodos de calor extremo, intensificar inspecciones de enfermedades, documentar fotográficamente colonias antes, durante y después del evento, controlar macroalgas competidoras donde sea viable y evaluar medidas temporeras de protección, como sombreado selectivo experimental o manejo localizado, solo cuando las condiciones técnicas lo permitan.
7. **Desarrollar o fortalecer una red de respuesta rápida.**
Conviene establecer una red colaborativa entre SAM, DRNA, universidades, operadores de buceo, comunidades costeras, pescadores, científicos ciudadanos, organizaciones no gubernamentales, academia y administradores de reservas. Esta red puede ayudar a documentar de forma temprana cualquier indicio de blanqueamiento, mortalidad, enfermedades, aguas turbias, sedimentación, descargas, varamientos, impactos recreativos o daño por anclaje sobre corales en tiempo casi real.
8. **Mejorar la comunicación pública del riesgo.**
Se recomienda publicar boletines técnicos, resúmenes breves y mensajes visuales dirigidos al público general. Estos deben explicar qué significa cada nivel de alerta, qué acciones debe evitar el público durante eventos de calor extremo y cómo informar observaciones de blanqueamiento,

mortalidad coralina, enfermedades o impactos físicos. Traducir información técnica a acciones concretas puede aumentar la participación ciudadana y reducir impactos evitables.

9. Coordinar con sectores turísticos, recreativos y pesqueros.

Deben establecerse guías temporeras para operadores de buceo, snorkeling, navegación recreativa, excursiones, alquiler de embarcaciones y pesca durante periodos de alerta. Estas guías deben incluir evitar tocar corales, no anclar sobre arrecifes o hierbas marinas, reducir velocidad en aguas someras, evitar resuspensión sedimentaria, respetar boyas de amarre, reportar blanqueamiento o mortalidad coralina y reducir actividades que puedan añadir estrés físico a arrecifes vulnerables.

10. Documentar impactos socioeconómicos.

Además del monitoreo ecológico, se recomienda documentar impactos potenciales sobre pesca, turismo, recreación, seguridad costera, servicios ecosistémicos y percepción comunitaria. Esta información fortalecerá solicitudes futuras de fondos, propuestas de restauración, medidas de adaptación climática y acciones de política pública.

11. Mantener la actualización mensual del boletín.

La continuidad del boletín es crítica durante 2026. Cada actualización debería resumir cambios en ENSO, anomalías térmicas, acumulación de DHWs, alertas de NOAA-CRWP, zonas de mayor riesgo en Puerto Rico, observaciones locales y recomendaciones operacionales para el mes siguiente. Esta continuidad permitirá ajustar las acciones de manejo conforme evolucione el evento térmico.

La SAM emitirá mensualmente durante los próximos meses una actualización del estado de los océanos alrededor de Puerto Rico y el Caribe, incluyendo la evolución de El Niño, las condiciones de calor extremo marino, las alertas de blanqueamiento, la acumulación de DHWs y recomendaciones específicas de manejo y mitigación de impactos. Por el momento, se exhorta a la comunidad, agencias, municipios, operadores turísticos, pescadores, científicos ciudadanos y organizaciones ambientales a mantenerse atentos a los boletines oficiales de NOAA, así como a las actualizaciones publicadas por la SAM a través de su portal y redes sociales.

En conclusión, aunque persiste incertidumbre sobre la intensidad final del evento térmico de 2026, la evidencia disponible justifica una respuesta preventiva, coordinada y adaptativa. Puerto Rico y el Caribe no deben esperar a que ocurra un nuevo evento severo de blanqueamiento para actuar. La reducción de estresores locales, el monitoreo sistemático, la protección de viveros y áreas restauradas, la comunicación pública y la coordinación intersectorial pueden ayudar a reducir impactos ecológicos y socioeconómicos durante un periodo de alta vulnerabilidad climática para los arrecifes coralinos.

Por el momento, se exhorta a la comunidad a mantenerse atentos a los boletines oficiales de NOAA, así como a la actualización de esta información a través del portal de la *Sociedad Ambiente Marino* (<https://sampr.org>) y de sus redes sociales a través de Facebook (*Sociedad Ambiente Marino*) e Instagram.