



**Sociedad Ambiente Marino, Inc.**

Villa Nevárez 1130 Calle 3, San Juan, PR 00927-5133

PO Box 22158 San Juan PR 00931-2158  
(939) 642-7264 • [samprorg@sampr.org](mailto:samprorg@sampr.org)  
<https://www.sampr.org>



Análisis de los riesgos de calor extremo marino y de blanqueamiento masivo de corales durante el 2025

Boletín Técnico Año 3 Núm. 3 – agosto 2025

Edwin A. Hernández Delgado, Ph.D.

Sociedad Ambiente Marino

[edwinhernandez@sampr.org](mailto:edwinhernandez@sampr.org)

21 de agosto de 2025





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](mailto:edwinhernandez@sampr.org)



## Resumen

*En Puerto Rico y el este del Caribe enfrentamos durante el mes de agosto de 2025 un cambio rápido en las condiciones de temperaturas del mar aumentando notablemente la anomalía térmica. Por lo que se ha emitido un **aviso de blanqueamiento** de corales, lo que aumenta gradualmente el riesgo de la progresión de condiciones conducentes al estrés térmico de los corales y el blanqueamiento entre finales octubre y mediados de noviembre.*

*De acuerdo con el Coral Reef Watch Program (CRWP) de NOAA, el 56% de las estaciones virtuales en las costas de Puerto Rico a mediados de agosto de 2025 se encontraba aún bajo una **vigilancia de blanqueamiento** de corales. El restante 44% ya se encontraba bajo **aviso de blanqueamiento**.*

*Durante mediados de agosto la ola de calor marino leve (**nivel 1**) que se comenzaba a desarrollar a través de las Antillas Mayores y Menores, incluyendo a Puerto Rico, se disipó casi en su totalidad debido al impacto de mezcla de las capas de agua generado recientemente por el paso al noreste del Caribe del Huracán Erin de categoría 5 y vientos sostenidos de 160 mph.*

*El índice de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) se anticipa se mantenga moderadamente en su fase negativa (vientos alisios atenuados) durante gran parte del mes de septiembre. Estas condiciones deben redundar en una reducción notable de vientos, promoviendo las condiciones oceanográficas calmadas y probablemente fomentando un aumento gradual en la tendencia de calentamiento regional y en el estrés térmico sobre los corales.*

*Al momento, el riesgo de calor extremo marino y de un evento significativo de blanqueamiento de corales en los próximos dos meses ha cambiado de mínimo a moderado para el período entre finales de octubre y mediados de noviembre, aunque la emisión potencial de una **alerta 1 de blanqueamiento** podría ocurrir tan temprano como finales de septiembre.*

*Sin embargo, la Sociedad Ambiente Marino (SAM) alerta sobre la necesidad de repasar y poner al día todos los planes existentes para minimizar el riesgo de cualquier posible impacto del blanqueamiento de corales entre finales de octubre y mediados de noviembre, especialmente en aquellas localidades impactadas por la degradación en la calidad de agua, la sedimentación, turbidez y por usos recreacionales excesivos.*

*Es vital mantenernos informados y atentos a cualquier posible cambio en las condiciones de temperatura del mar.*

## 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. 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 mortandad de corales en Puerto Rico y el Caribe. En el 2024 la publicación se adelantó para el

mes de abril. Ahora en el 2025 el primer boletín se está publicando en el mes de junio debido a que las tendencias de calentamiento han sido un poco más lentas que en los dos años previos.

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 mortandad 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).

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.

Ante la preocupación generada por esta situación, la Sociedad Ambiente Marino (SAM) ha publicado su volumen 3, número 1 del boletín técnico titulado: "**Análisis de los riesgos de calor extremo marino y de blanqueamiento masivo de corales durante el 2025**". 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 junio de 2025 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](mailto: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 agosto de 2025 sugiere que no existen condiciones de El Niño y que para el período de julio a septiembre apenas existe una probabilidad menor de 2% que se comience a desarrollar un fenómeno de El Niño (Figura 1). Para el período de agosto a octubre esa probabilidad continua apenas en 4%, entre septiembre a noviembre la probabilidad apenas alcanza 3% y solo 4% para el período de octubre a diciembre. La probabilidad de desarrollo de La Niña entre julio y septiembre es de 24%, entre agosto y octubre es de 43%, de 54% entre septiembre y noviembre, y de 58% entre octubre y diciembre. Sin embargo, las condiciones predominantes actualmente son neutrales, con 76% de probabilidad entre julio y septiembre, 56% entre agosto y octubre, 45% entre septiembre y noviembre, y de 39% entre octubre y diciembre. Esto sugiere que el 2025 debe continuar bajo el dominio de condiciones neutrales y gradualmente ir comenzando una transición hacia condiciones muy leves a moderadas y efímeras de La Niña, pero sin una dominancia clara, ya que los modelos sugieren una acentuación nuevamente de las condiciones neutrales durante el 2026.

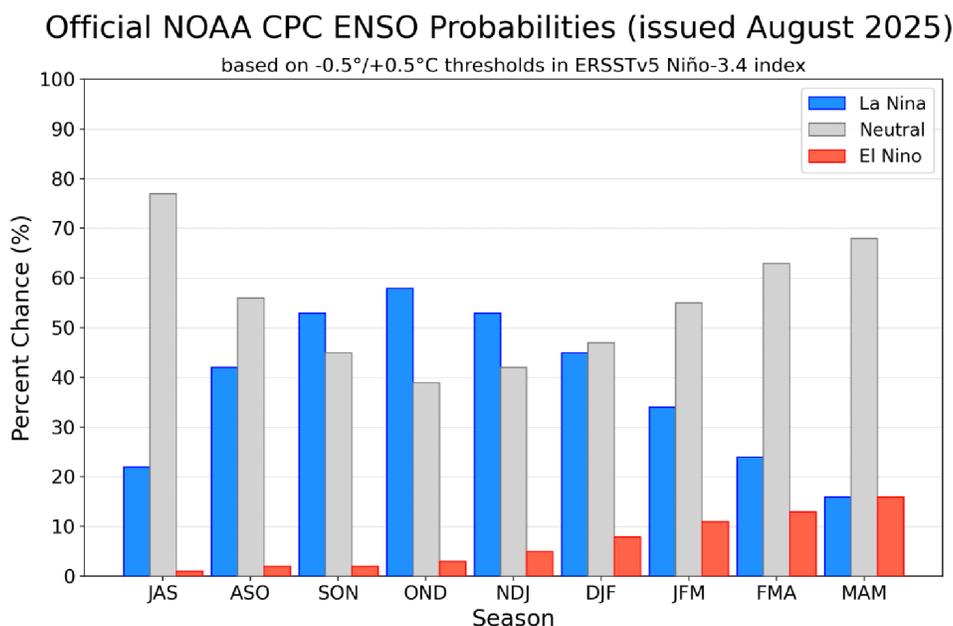


FIGURA 1. Pronóstico oficial del NOAA Climate Prediction Center sobre el desarrollo de las condiciones de El Niño y La Niña durante el 2025 en la zona El Niño 3.4. Fuente: [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_advisory/figure07.gif](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/figure07.gif) (accedido: 21 de agosto de 2025).

En la Figura 2 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.

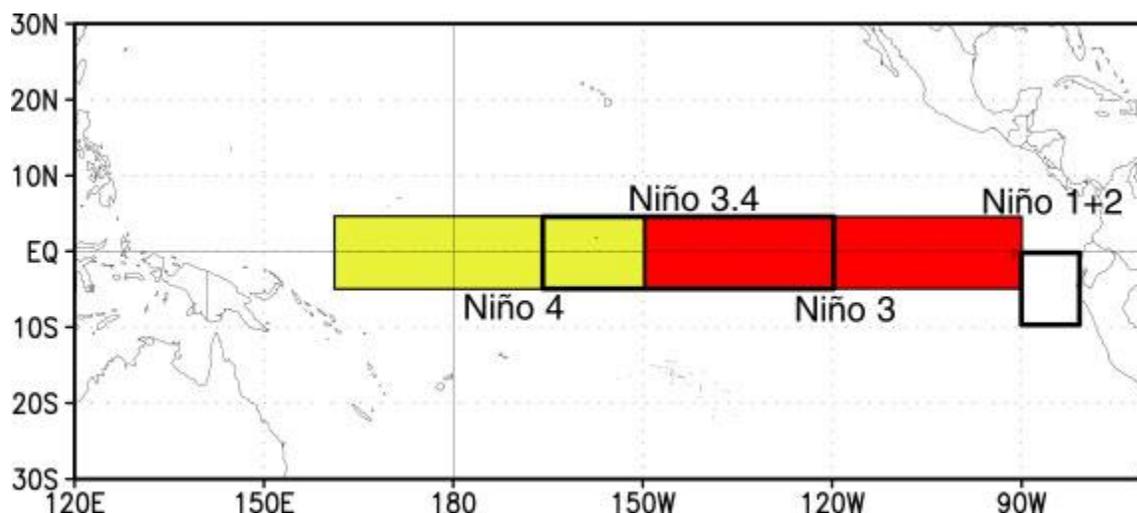


FIGURA 2. A) Mapa de la distribución espacial de las diversas zonas de desarrollo del fenómeno de El Niño a lo largo del Océano Pacífico tropical. Fuente: [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/nino\\_regions.shtml](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/nino_regions.shtml) (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 3 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 3a 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.

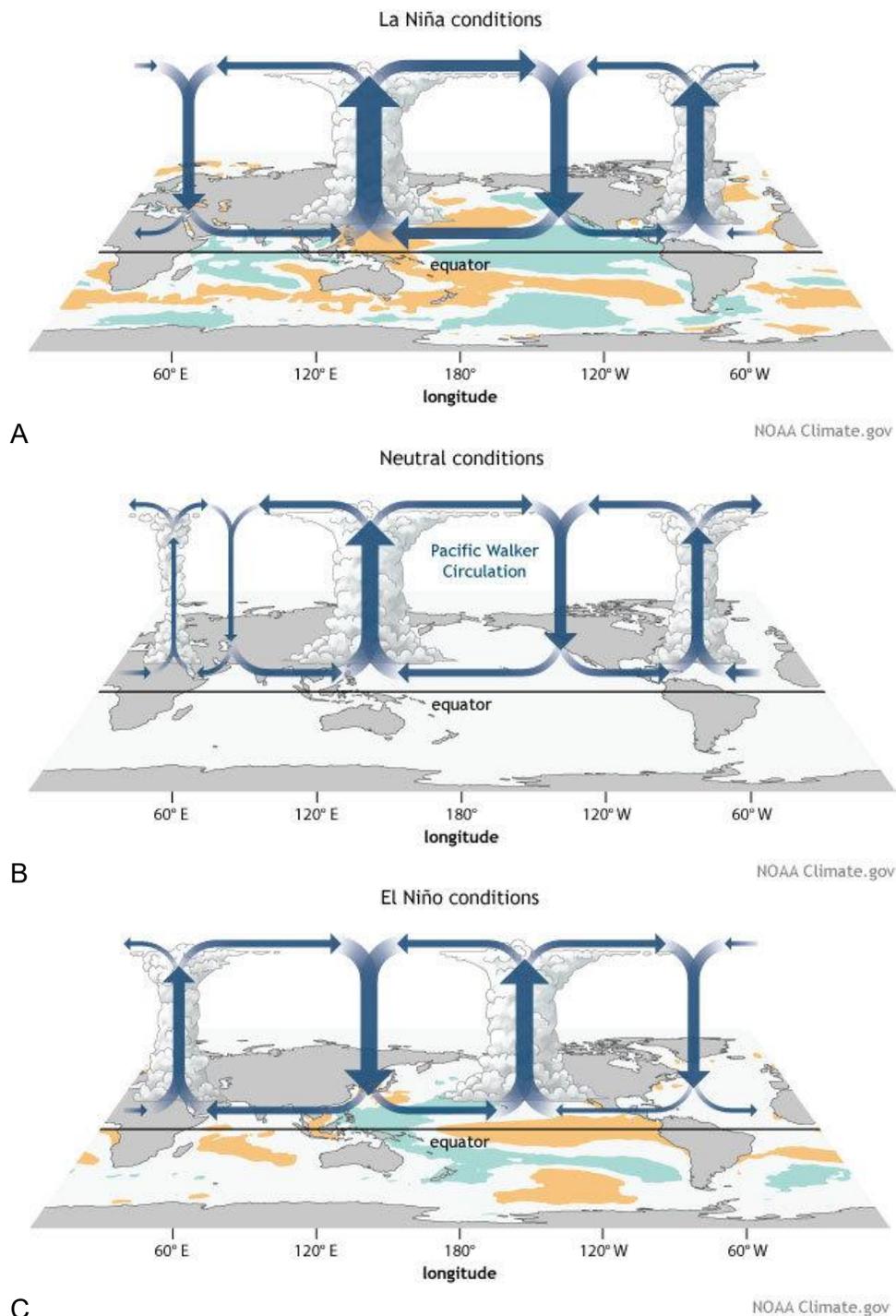


FIGURA 3. Patrones de variación de la Circulación Walker en el Océano Pacífico Tropical entre las condiciones: A) La Niña; B) Condiciones neutrales; y C) el desarrollo del fenómeno de la Oscilación del Sur de El Niño (ENSO). Fuente: <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/walker-circulation-ensos-atmospheric-buddy> (accedido: 7 de mayo de 2023).

**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.

**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 4a y 4b).

**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 4a)

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 3b muestra la configuración de la Circulación Walker durante las condiciones neutrales 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.

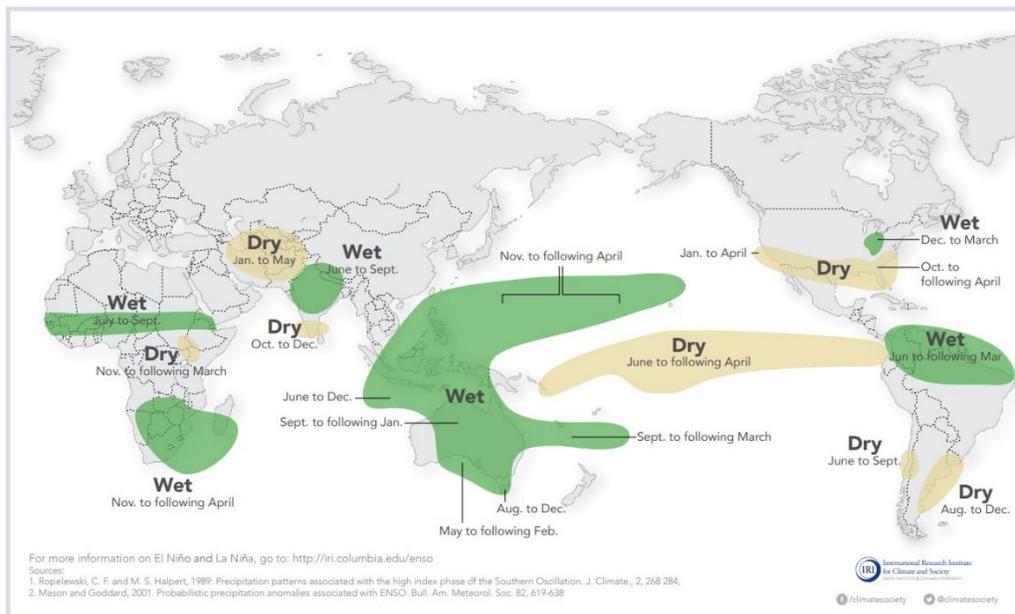
Algunos de los efectos de esta condición neutral incluyen los siguientes:

**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.

### La Niña and Rainfall

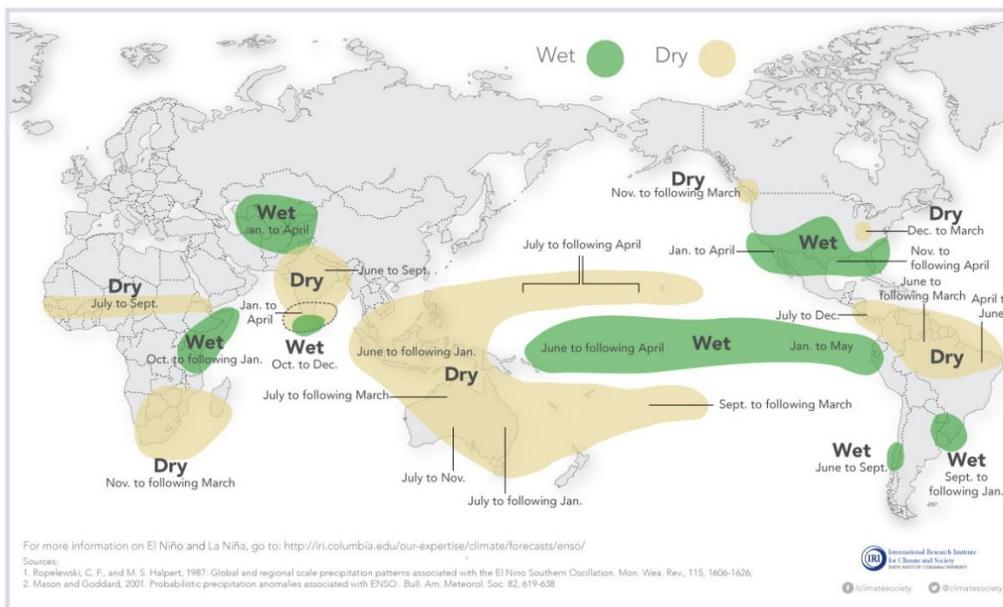
La Niña conditions in the tropical Pacific are known to shift rainfall patterns in many different parts of the world. Although they vary somewhat from one La Niña to the next, the strongest shifts remain fairly consistent in the regions and seasons shown on the map below.



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 4. 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).

**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.

**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 3c 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 3c), 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

La Figura 5 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 2). Esta sugiere que la zona El Niño 1+2 se registró entre febrero y abril de 2025 un cambio rápido en la anomalía térmica del mar de  $-0.5^{\circ}\text{C}$  durante el mes de febrero de 2025 a  $+1.5^{\circ}\text{C}$  durante marzo, luego disminuyendo a  $-0.2^{\circ}\text{C}$  y volviendo a aumentar gradualmente a  $+1.0^{\circ}\text{C}$  a mediados de junio, manteniéndose a  $+0.7^{\circ}\text{C}$  a mediados de agosto (Figura 5). Dichas oscilaciones reflejan las condiciones de neutralidad. En tanto, la zona El Niño 3 cambió durante el mismo período de  $-0.5$  a  $+0.5^{\circ}\text{C}$ , pero luego gradualmente ha descendido hasta  $-0.4^{\circ}\text{C}$  entre mayo y mediados de junio, manteniéndose a  $-0.15^{\circ}\text{C}$  a mediados de agosto. La zona El Niño 4 cambió durante el mismo período de  $-0.9$  a  $+0.3^{\circ}\text{C}$ , hasta alcanzar  $0^{\circ}\text{C}$  durante agosto, mientras que la zona combinada El Niño 3.4 cambió durante el mismo período de  $-0.2$  a  $+0.3^{\circ}\text{C}$ , alcanzando  $-0.3^{\circ}\text{C}$  en agosto. Esto sugiere una transición gradual y sostenida hacia la neutralidad en todo el Pacífico tropical.

La Figura 6a presenta apenas varios puntos en la zona El Niño 1+2 con anomalías de  $+1$  a  $+3^{\circ}\text{C}$ , mientras que en el resto del Pacífico tropical las anomalías fluctúan de  $-2.0$  a  $+0.5^{\circ}\text{C}$ . La Figura 6b ilustra el cambio gradual generalizado entre las longitudes  $100$  y  $180^{\circ}$  de anomalías de  $-1.4^{\circ}\text{C}$  en enero de 2025 a  $-0.5^{\circ}\text{C}$  en marzo y apenas alcanzando  $+0.2^{\circ}\text{C}$  desde abril hasta julio y  $-0.4^{\circ}\text{C}$  en agosto, sugiriendo nuevamente condiciones de neutralidad.

La Figura 6c sugiere anomalías de  $-2$  a  $-4^{\circ}\text{C}$  en los primeros  $50$  m de profundidad en la zona El Niño 1+2, seguida inmediatamente de una anomalía de  $+1^{\circ}\text{C}$  entre la superficie y  $25$  m, desde  $-0.5$  a  $-2^{\circ}\text{C}$  hasta los  $150$  m. La zona El Niño 2 muestra anomalías de  $-0.5$  a  $-2.0^{\circ}\text{C}$  en los primeros  $150$  m.

El resto de la superficie del Pacífico tropical en las zonas 3, 3.4, y 4 hasta los  $50$  m presenta condiciones de neutralidad a anomalías de  $0$  a  $-0.5^{\circ}\text{C}$  en la superficie, y de  $-0.5$  a  $-1.0^{\circ}\text{C}$  en los primeros  $200$  m, con algunas zonas extensas con aguas de  $-2.0$  a  $-4.0^{\circ}\text{C}$  en  $75$  a  $125$  m, y zonas de  $75$  a  $200$  m con anomalías de  $+1.0$  a  $+2.0^{\circ}\text{C}$ . Esto claramente evidencia una alta variabilidad espacial y condiciones mixtas a diversas capas de profundidad, usuales cuando hay condiciones de neutralidad.

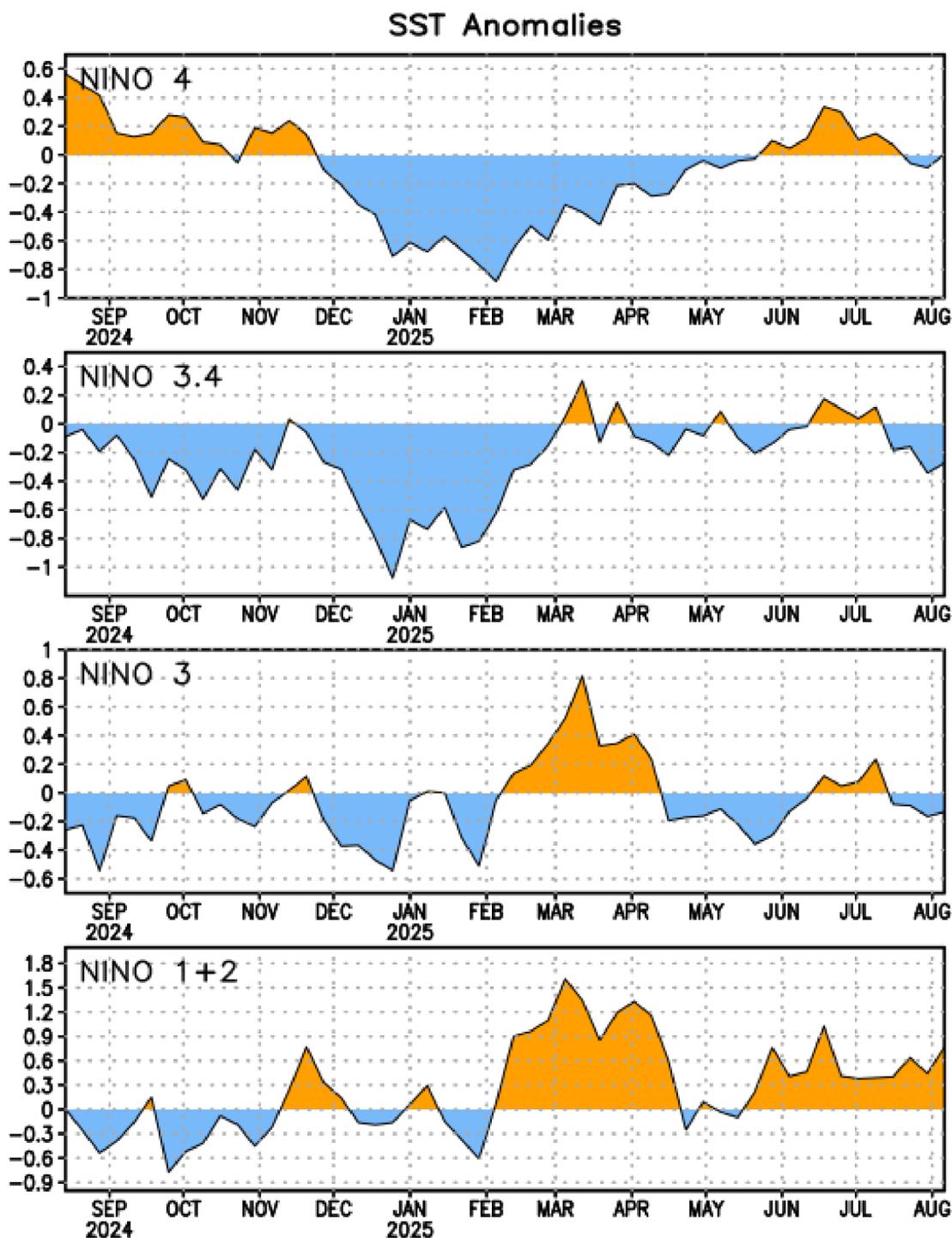


FIGURA 5. Series de tiempo de los promedios de área de las anomalías térmicas (°C) de las regiones de El Niño en el Océano {Pacífico). Las anomalías se calcularon contra la base histórica de datos de 1991-2020 utilizando los promedios semanales.  
[https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_advisory/figure02.gif](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/figure02.gif)  
(Accedido: 21 de agosto de 2025).

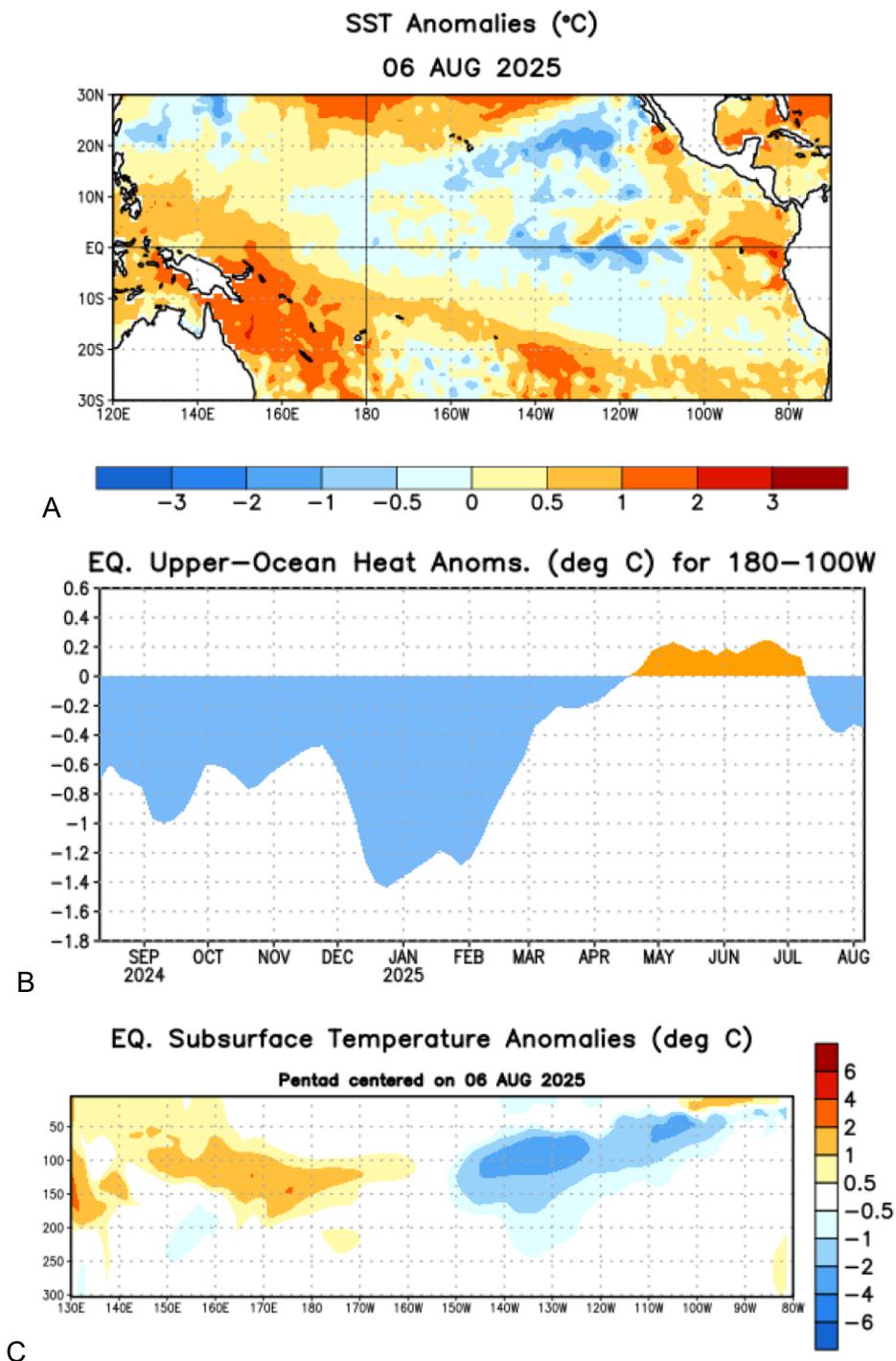


FIGURA 6. A) Anomalías térmicas (°C) en la superficie del mar en el Pacífico Tropical; B) Anomalías térmicas (°C) subsuperficiales (0-300 m) de las regiones de El Niño en el Océano Pacífico; C) Variación longitudinal en las anomalías térmicas (°C) subsuperficiales (0-300 m) de las regiones de El Niño 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/](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/) (Accedido: 21 de agosto de 2025).

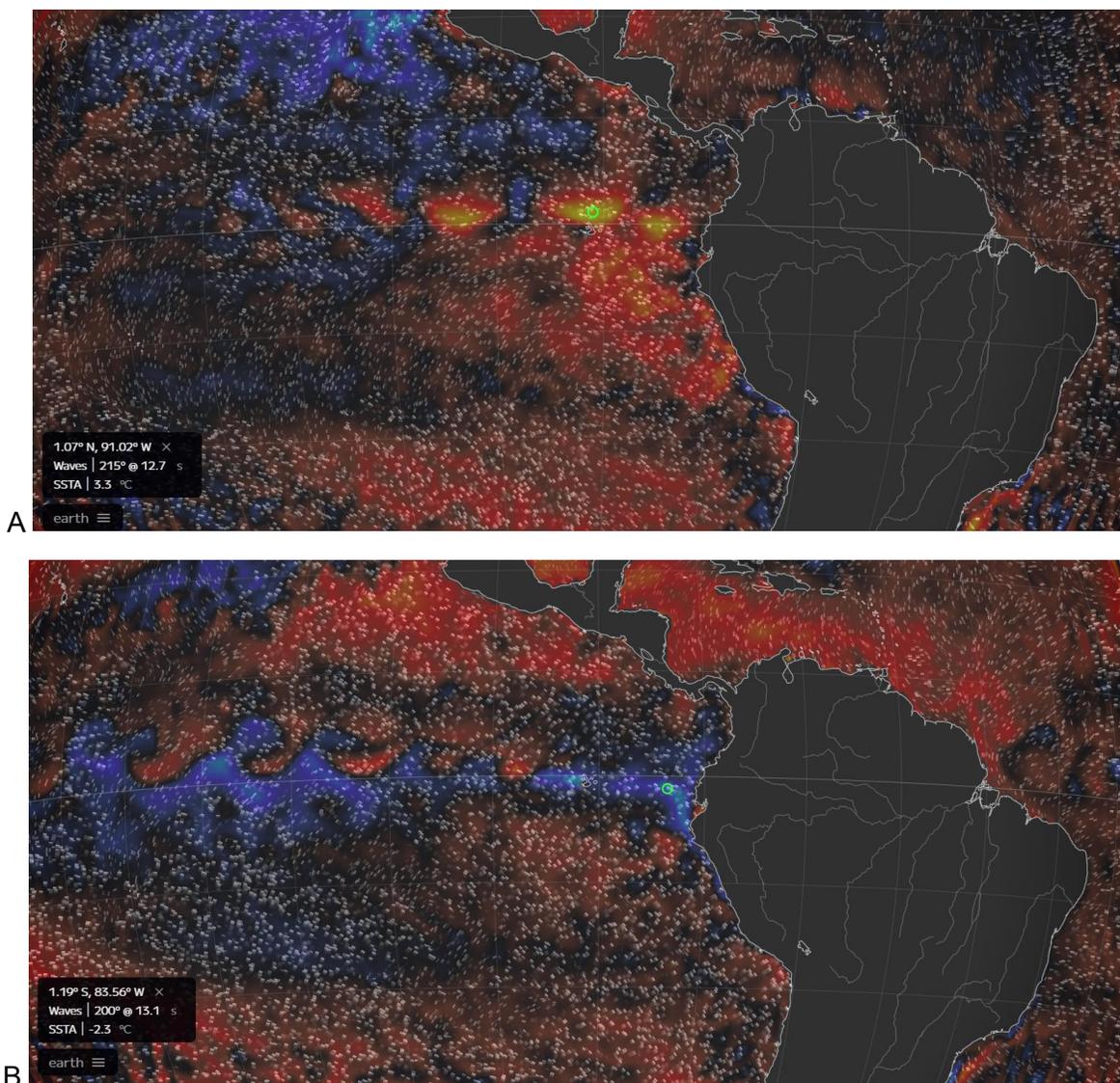


FIGURA 7. Imagen en tiempo real de las anomalías térmicas de la superficie del mar en zona este del Pacífico tropical, en la costa oeste de Sur América. Accedido: A) 16 de junio de 2025; B) 21 de agosto de 2025. Fuente: [https://earth.nullschool.net/#current/ocean/primary/waves/overlay=sea\\_surface\\_temp\\_anomaly/orthographic=-91.89,-4.38,894/loc=-83.649,-2.865](https://earth.nullschool.net/#current/ocean/primary/waves/overlay=sea_surface_temp_anomaly/orthographic=-91.89,-4.38,894/loc=-83.649,-2.865)

La evidencia en tiempo real de los patrones de distribución de temperatura en el este al centro del Pacífico tropical mostraba durante junio una leve anomalía térmica positiva frente a las costas de Perú, Ecuador y Colombia (zona El Niño 1+2), alcanzando hasta +3.3°C alrededor de las Islas Galápagos (Figura 7a). Durante agosto la influencia de aguas con anomalías negativas (hasta -2.3°C) es la que domina el resto del Pacífico tropical y subtropical, mostrando condiciones entre neutralidad y un fenómeno muy leve que tiende hacia La Niña (Figura 7b).

Un análisis similar de los patrones en tiempo real de las temperaturas del mar evidenciaba, sin embargo, una anomalía térmica positiva generalizada a través del Golfo de México entre +1 y +2°C durante junio, pero mostraba condiciones de neutralidad a través de la mayoría del resto del Caribe (Figura 8a). Durante agosto, en la zona se observan anomalías superiores de +1.5 a +2.0°C (Figura 8b). La imagen también evidencia un aumento modesto en la anomalía térmica promedio del este del Caribe y de parte del Atlántico tropical entre +0.5 y +1.0°C. Según esta imagen, en Puerto Rico, la anomalía de junio promediaba apenas +0.3°C, incrementando a +0.8°C durante agosto.

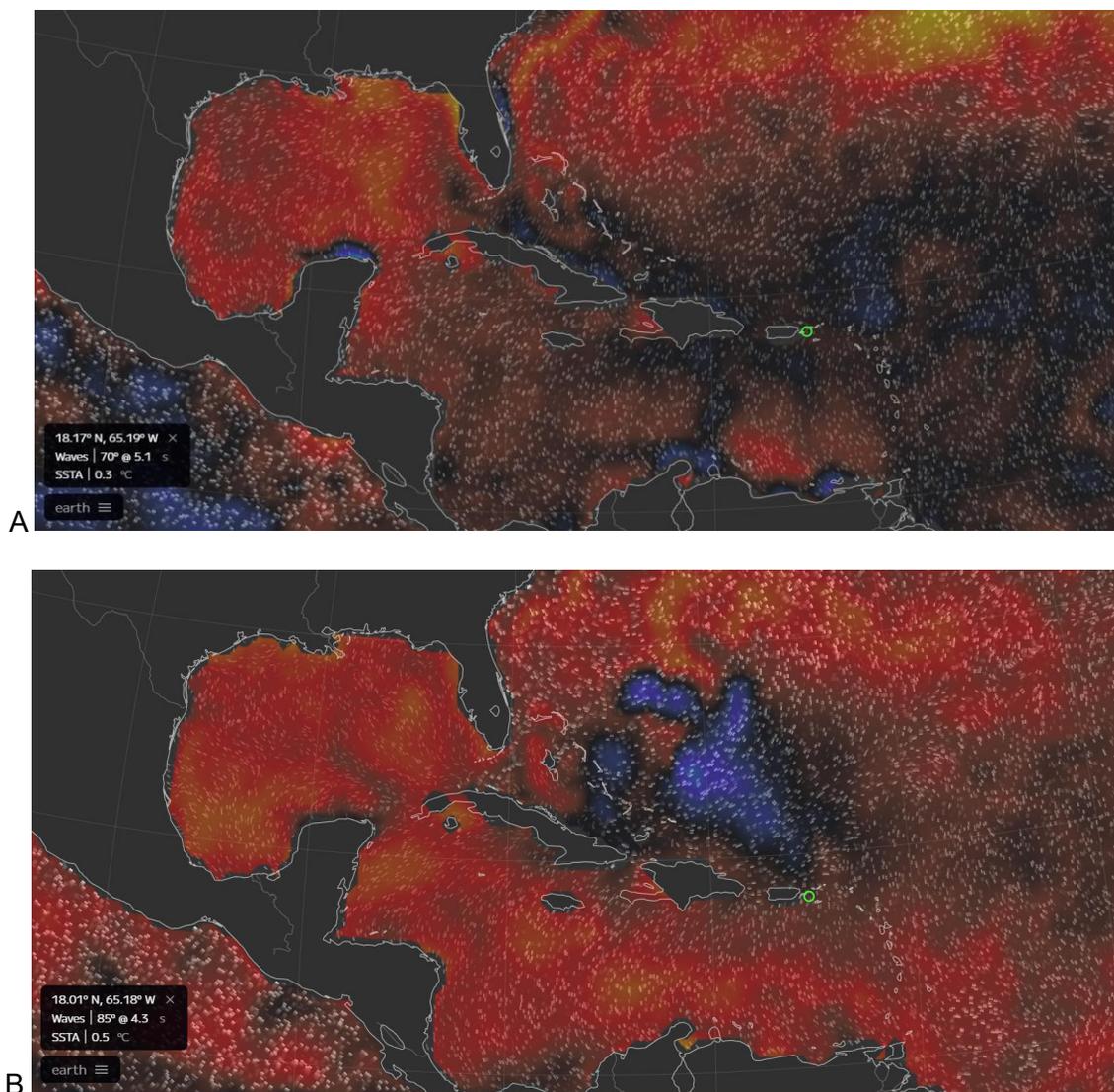


FIGURA 8. Imagen en tiempo real de las anomalías térmicas de la superficie del mar en zona del Caribe. Accedido: A) 16 de junio de 2025; B) 21 de agosto de 2025. Fuente: [https://earth.nullschool.net/#current/ocean/primary/waves/overlay=sea\\_surface\\_temp\\_anomaly/orthographic=-76.54,19.90,1797/loc=-65.389,18.208](https://earth.nullschool.net/#current/ocean/primary/waves/overlay=sea_surface_temp_anomaly/orthographic=-76.54,19.90,1797/loc=-65.389,18.208)

De la misma forma, se observó a mediados de junio de 2025 un aumento las temperaturas promedio del mar con temperaturas, alcanzando 28 a 31°C en partes del Pacífico oriental y de 28 a 29°C en el Caribe Centroamericano (Figura 9a), las cuales se han sostenido con poca variación espacial durante julio (Figura 9b). También se documentaron algunas anomalías térmicas de +0.5°C en algunas zonas de la región del Pacífico tropical del este, justo al oeste de Centro América, pero con condiciones neutrales o ligeramente negativas prevalecientes en dicha región (Figura 10a). Dichas anomalías se expandieron geográficamente durante agosto, inclusive alcanzando zonas con anomalías superiores a +1.0°C (Figura 10b). También, lejos de las costas, se observan algunos puntos con anomalías térmicas superiores a +2.0 y +3.0°C.

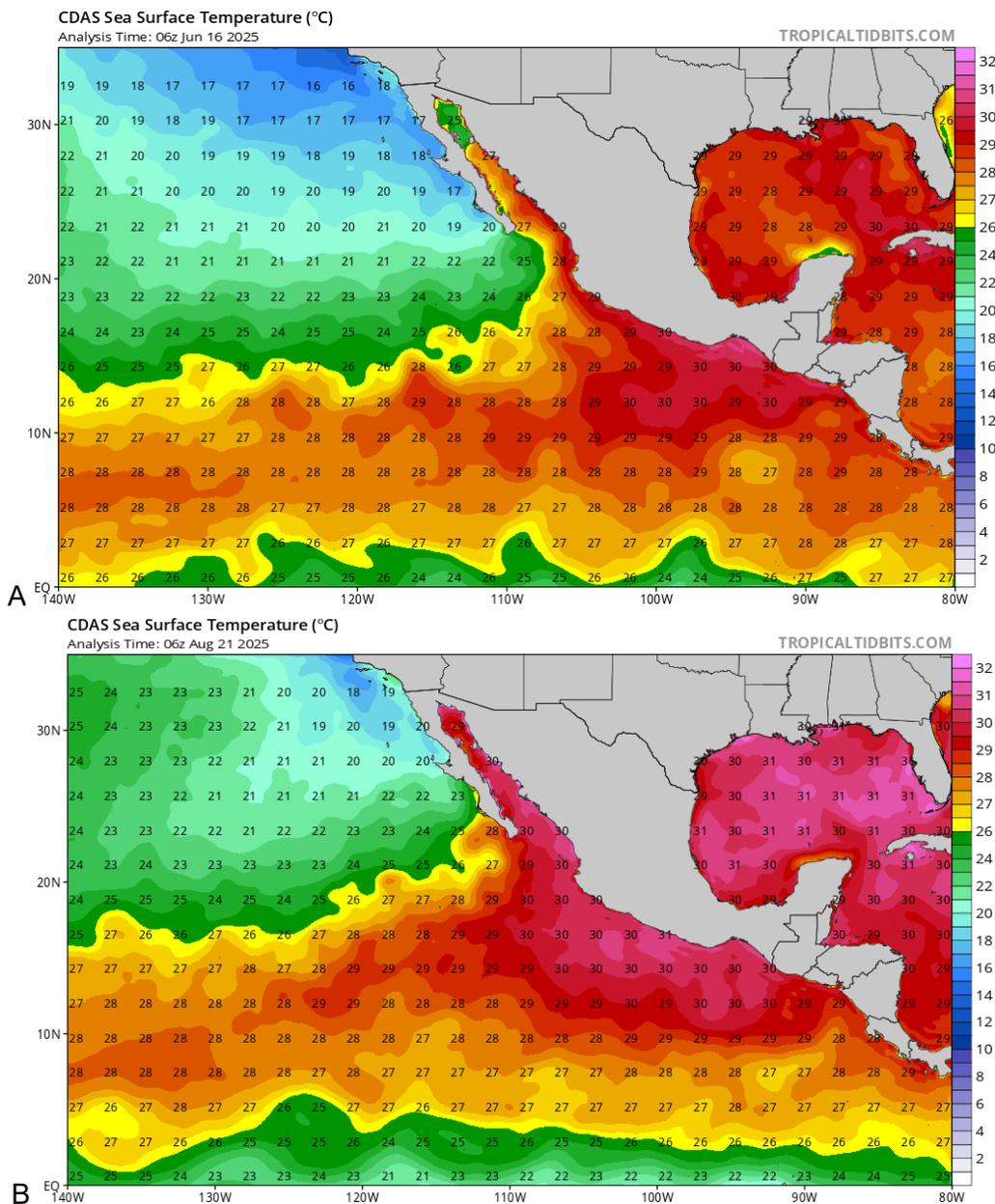


FIGURA 9. Patrones de distribución de temperaturas superficiales del mar en el este del Pacífico tropical. Accedido: A) 16 de junio de 2025; B) 21 de agosto de 2025. Fuente: [https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/cdas-sflux\\_sst\\_epac\\_1.png](https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/cdas-sflux_sst_epac_1.png)

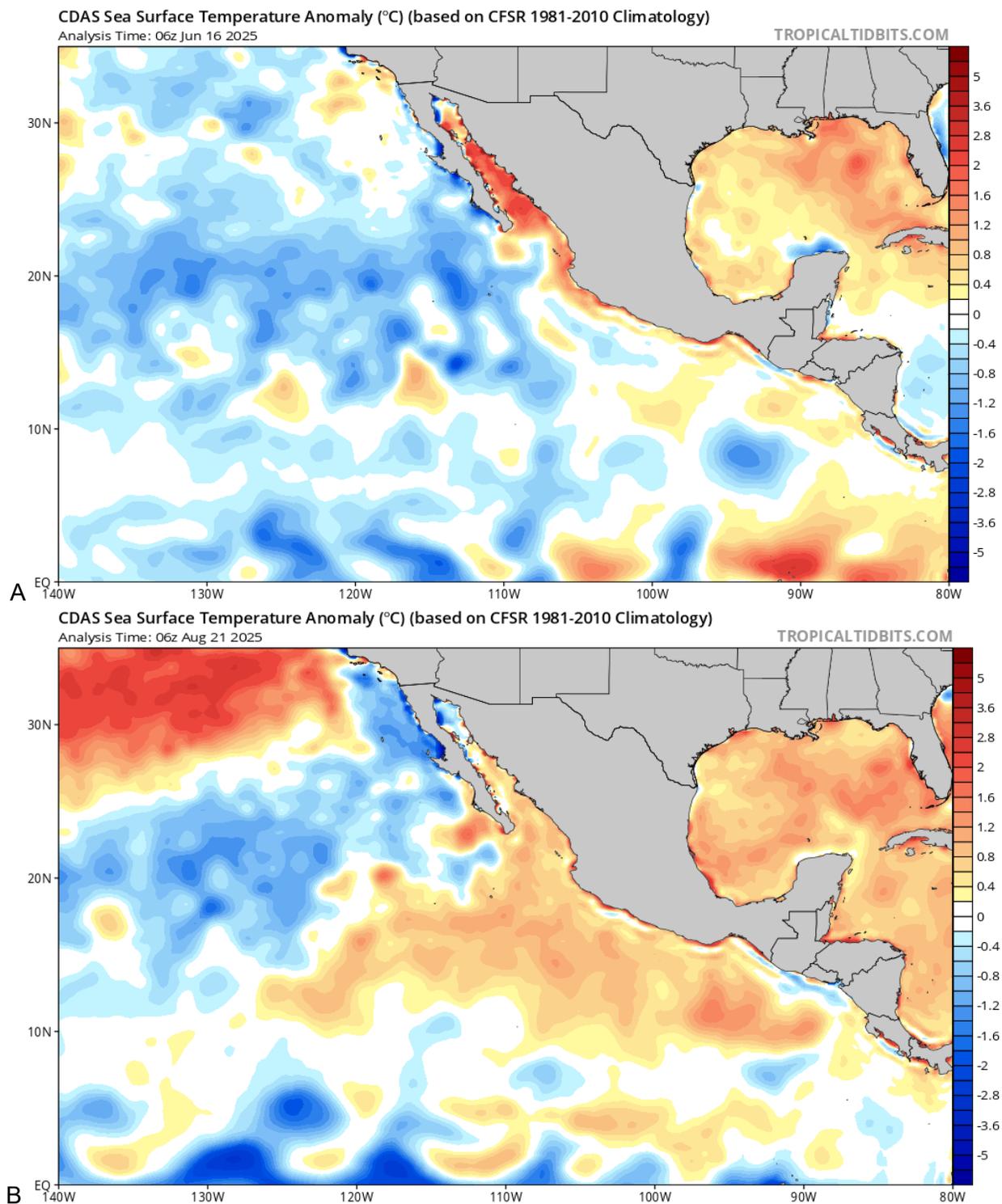


FIGURA 10. Patrones de distribución de las anomalías térmicas en la superficie del mar en el este del Pacífico tropical. Accedido: A) 16 de junio de 2025; B) 21 de agosto de 2025. Fuente: [https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/cdas-sflux\\_ssta\\_epac\\_1.png](https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/cdas-sflux_ssta_epac_1.png)

En la región del Golfo de México y partes del oeste del Caribe existían en junio temperaturas de 28 a 30°C, con la excepción del norte de la Península de Yucatán que mostraba una surgencia con temperaturas aun de 26°C (Figura 11a). En el resto del Caribe central y el este las temperaturas oscilaban entre 27 y 29°C. El este del Caribe mostraba temperaturas de 27 a 28°C, mientras Puerto Rico mostraba temperaturas alrededor de 28°C. Estas eran temperaturas apenas ligeramente sobre la temperatura promedio de la época o alrededor de ésta. Ya durante agosto se observa un patrón generalizado de aumentos de temperatura, alcanzando en el Golfo de México temperaturas de 30 a 31°C y de 29 a 31°C en el resto de la región, incluyendo 29 a 30°C en el este del Caribe, incluyendo las aguas alrededor de Puerto Rico (Figura 11b). Esto evidencia un patrón gradual de calentamiento usual del verano, aunque mostrando temperaturas superiores a la climatología de la época para la región.

El Golfo de México alcanzaba en junio de 2025 anomalías de +0.2 a +2°C, el oeste del Caribe de +0.2 a -0.6°C, y el este del Caribe de +0.6 a +1°C (Figura 12a). La mayoría de la zona del Caribe se encontraba en junio bajo condiciones de neutralidad térmica. Ya durante agosto, el Golfo de México oscila entre +0.5 y +1.2°C, el oeste del Caribe entre +0.5 y +1.0°C, el centro y el este del Caribe (Figura 12b). La zona de Puerto Rico se encuentra entre +0.5 y +1.3°C. Sin embargo, existe una franja de aguas del Atlántico oeste subtropical que evidencian una extensa ola de calor marino, con anomalías térmicas que oscilan entre +2.0 y +3.0°C, la cual está afectando de forma directa a los arrecifes de coral en la Isla de Bermuda, donde ya existe una **Alerta 2 de blanqueamiento** de corales.

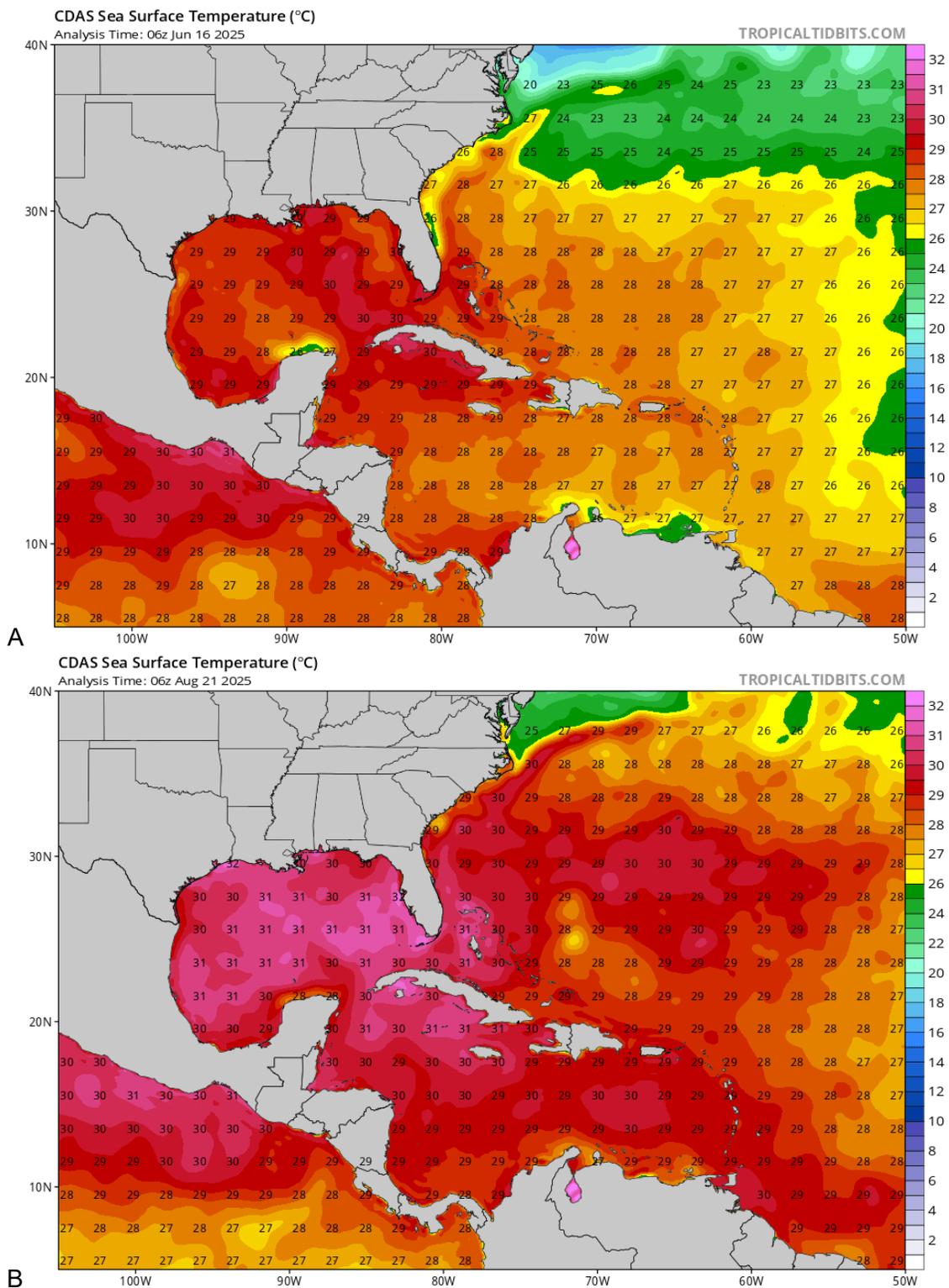


FIGURA 11. Patrones de distribución de temperaturas superficiales del mar a través del Mar Caribe. Accedido: A) 16 de junio de 2025; B) 21 de agosto de 2025. Fuente: [https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/cdas-sflux\\_sst\\_watl\\_1.png](https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/cdas-sflux_sst_watl_1.png)

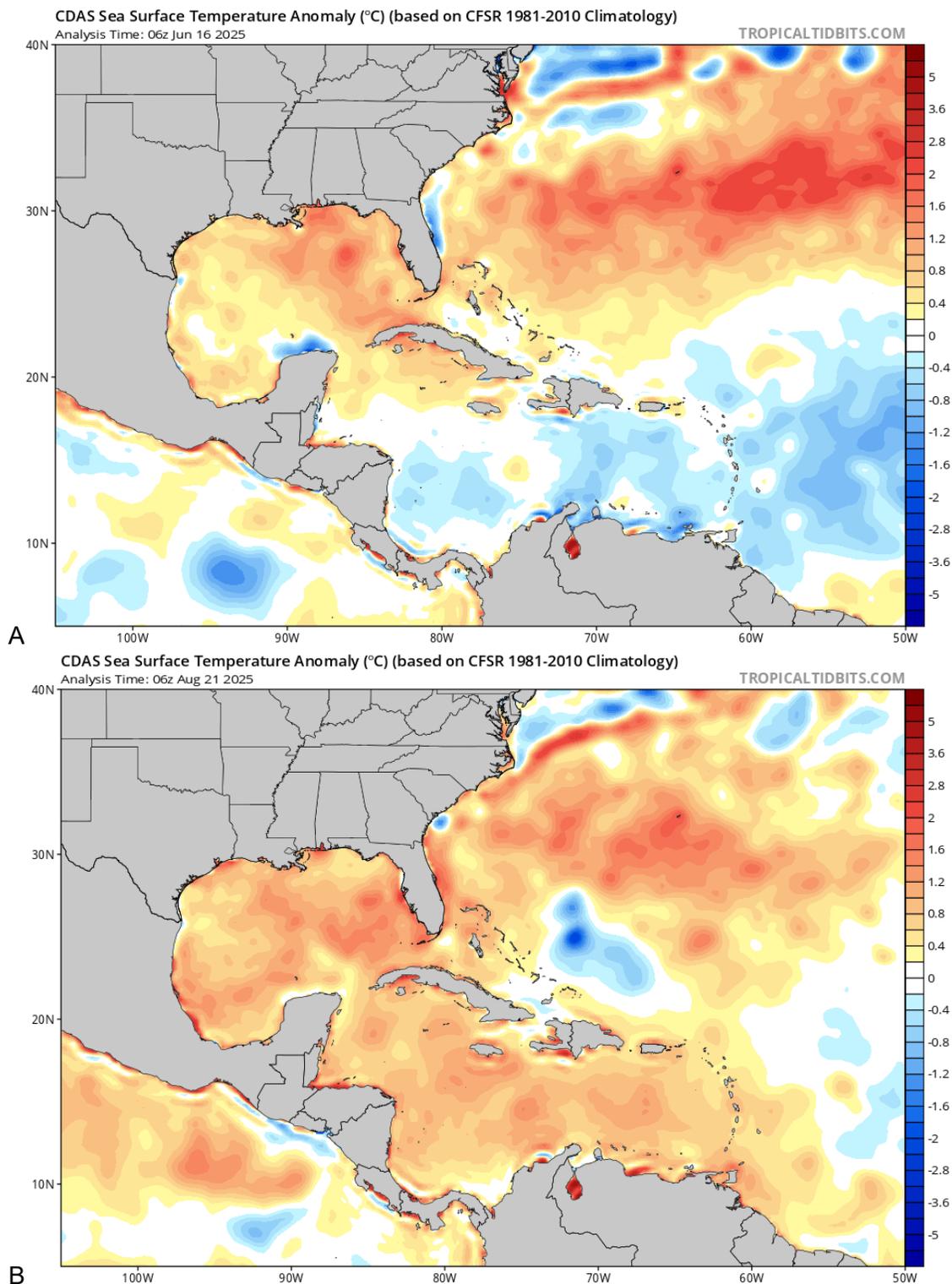


FIGURA 12. Patrones de distribución de las anomalías térmicas en la superficie del mar a través del Mar Caribe. Accedido: A) 16 de junio de 2025; B) 21 de agosto de 2025. Fuente: [https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/cdas-sflux\\_ssta\\_watl\\_1.png](https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/cdas-sflux_ssta_watl_1.png)

## V. Evidencia documental de 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 a 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 marinos 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.

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. Resulta vital comprender mejor sus consecuencias a corto, mediano y largo plazo.

La Figura 13a muestra la extensión espacial de la ola de calor marino de **nivel de alerta 1**, con algunos segmentos de **nivel de alerta 2**, a mediados de junio de 2025 casi de forma ininterrumpida a través de todo el Atlántico subtropical hasta el Golfo de México, sin embargo, gran parte de la zona del Caribe y Puerto Rico se encontraban entonces bajo condiciones neutrales de temperatura. La Figura 13b muestra cómo se ha acentuado la intensidad de la ola de calor marino del Atlántico subtropical, evidenciando una ampliación en las zonas bajo **nivel de alerta 1 y nivel 2**, aunque una porción de esta zona se ha erosionado debido al efecto oceanográfico de mezcla de diversas capas de aguas debido al impacto del Huracán categoría 5 Erin.

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 Olas de Calor**
  - Temperaturas del agua normales en relación a la climatología regional, sin riesgo para los corales.
- **Nivel 1: Olas de Calor Leves**
  - 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: Olas de Calor Moderadas**
  - 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.
- **Nivel 3: Olas de Calor Fuertes**
  - 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: Olas de Calor Críticas**
  - Temperaturas extremas que pueden resultar en un blanqueamiento masivo de corales, en gran mortalidad, afectando gravemente la salud de los arrecifes.
- **Nivel 5: Olas 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.

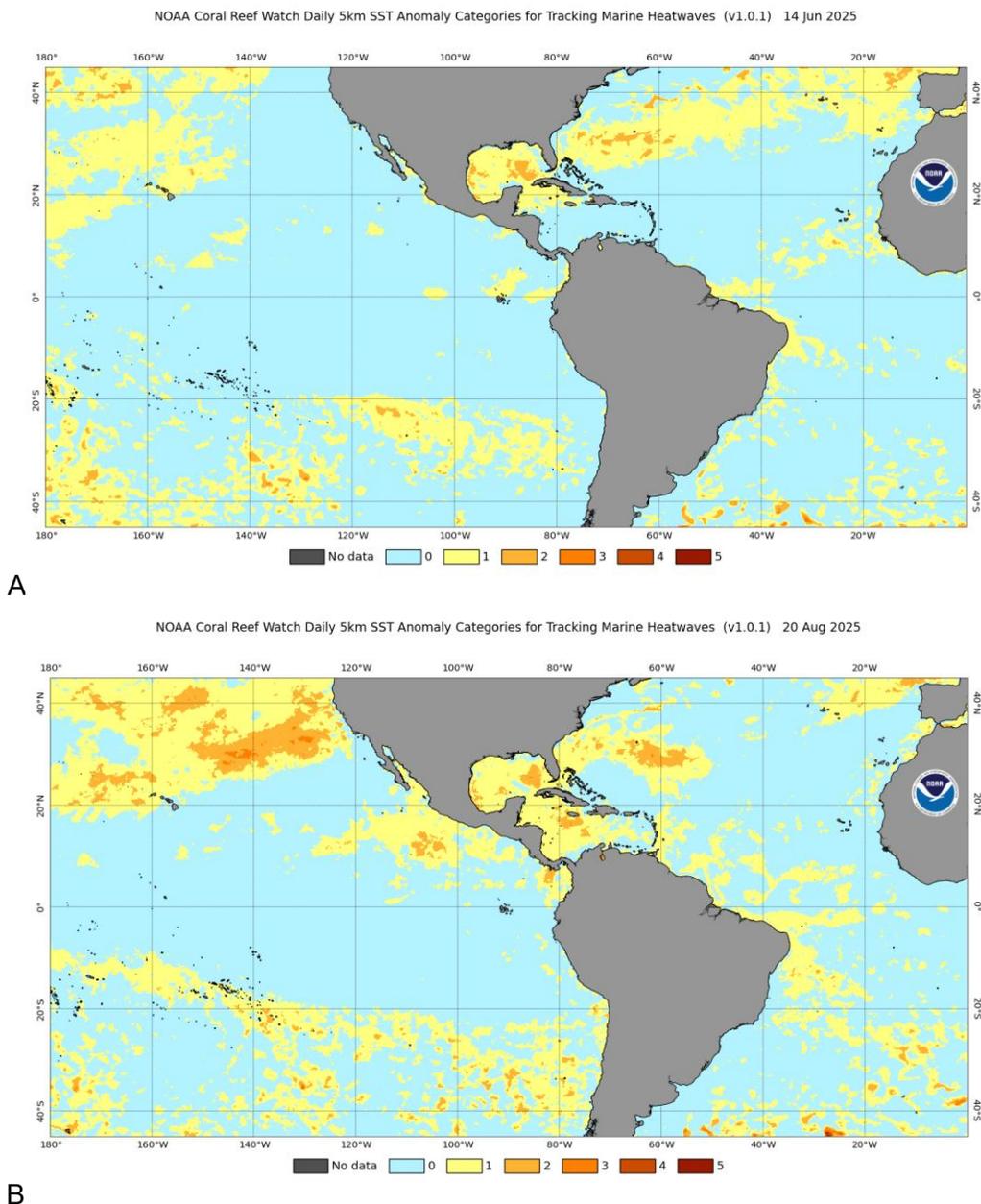


FIGURA 13. Clasificación actual del NOAA Coral Reef Watch Program de la ola de calor marino atravesando la zona del Océano Atlántico. Accedido: A) 16 de junio de 2025; B) 21 de agosto de 2025. Fuente:

[https://coralreefwatch.noaa.gov/data\\_current/marine\\_heatwave/v1.0.1/daily/png/noaa-crw\\_mhw\\_v1.0.1\\_category\\_west\\_current.png](https://coralreefwatch.noaa.gov/data_current/marine_heatwave/v1.0.1/daily/png/noaa-crw_mhw_v1.0.1_category_west_current.png)

La Figura 14a muestra un detalle del **nivel de alerta 1** de la ola de calor marino que predominaba en junio a través del oeste del Atlántico subtropical, de toda la parte oeste-noroeste del Caribe y el Golfo de México, con algunas zonas bajo **nivel de alerta 2**. La Figura 14b muestra el desarrollo y extensión gradual de dicha ola con **nivel de alerta 1** a través del noroeste del Caribe y parte de las Antillas, aunque una porción se ha erosionado debido al impacto reciente de mezcla de las capas de agua del mar por el Huracán Erin.

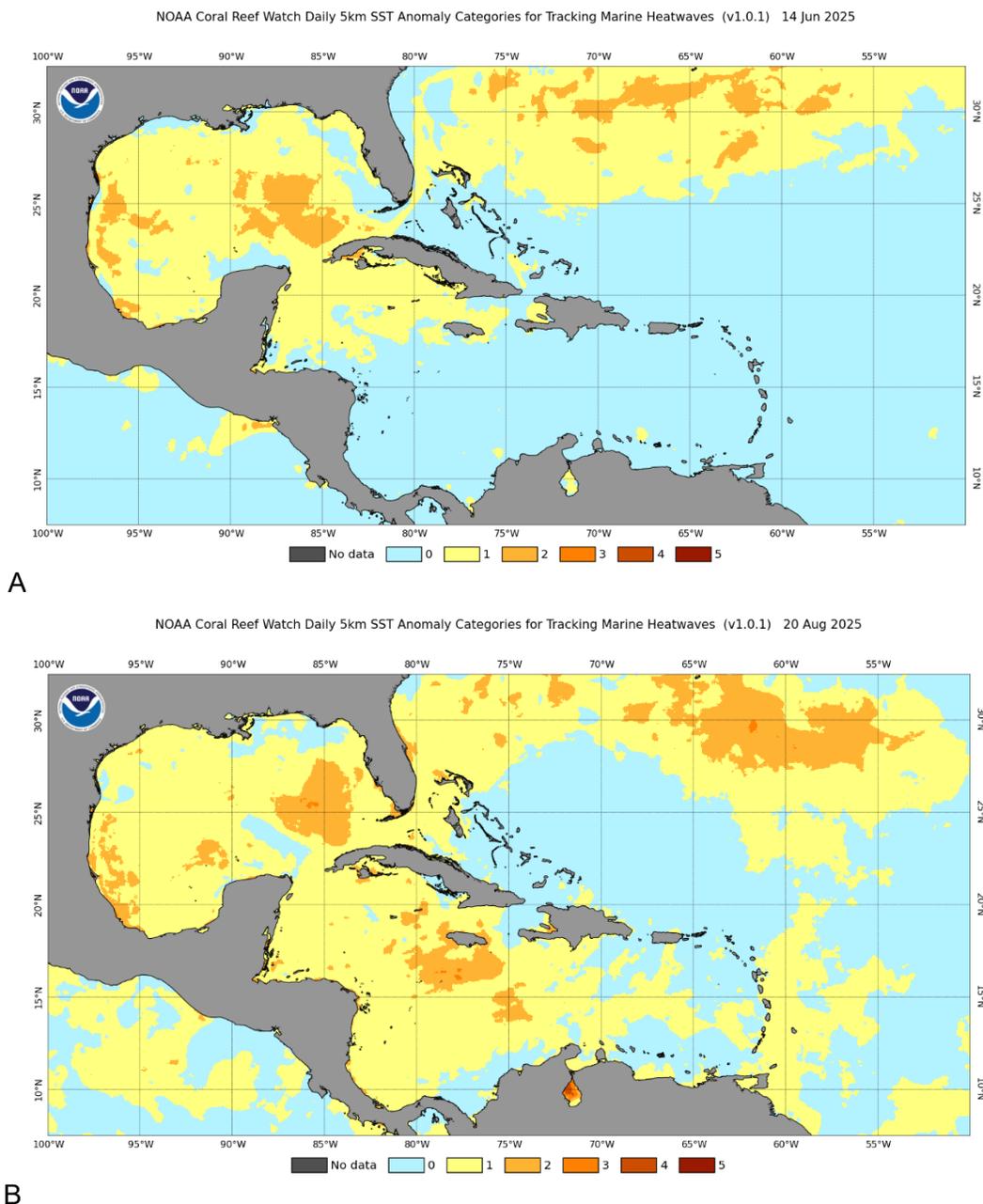
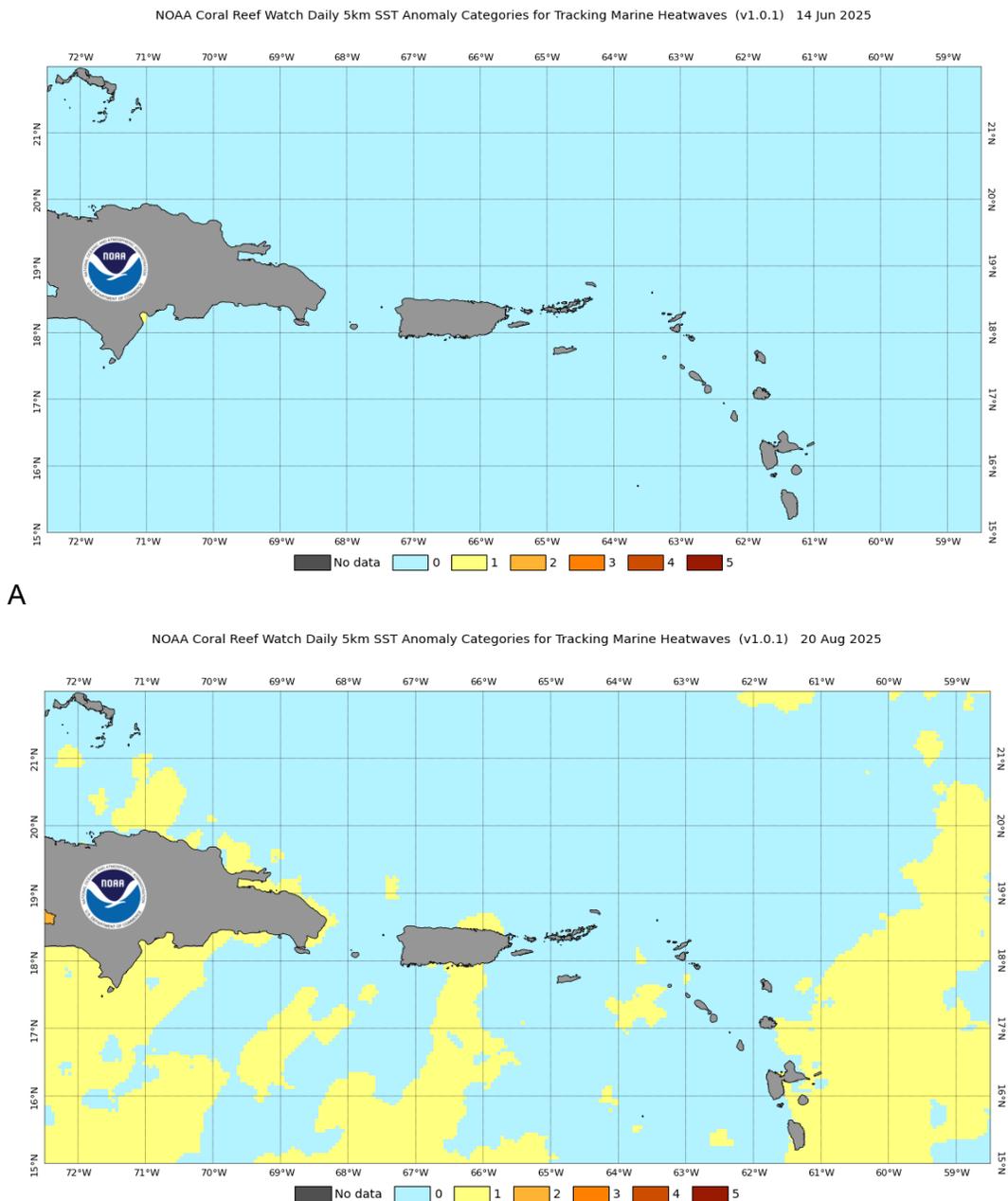


FIGURA 14. Clasificación actual del NOAA Coral Reef Watch Program de la ola de calor marino atravesando la zona del Caribe. Accedido: A) 16 de junio de 2025; B) 31 de agosto de 2025. Fuente: [https://coralreefwatch.noaa.gov/data\\_current/marine\\_heatwave/v1.0.1/daily/png/noaa-crw\\_mhw\\_v1.0.1\\_category\\_caribbean\\_current.png](https://coralreefwatch.noaa.gov/data_current/marine_heatwave/v1.0.1/daily/png/noaa-crw_mhw_v1.0.1_category_caribbean_current.png)

La Figura 15a evidencia la ausencia de riesgos de olas de calor marino durante el mes de junio para la zona de Puerto Rico. Sin embargo, la Figura 15b muestra parte de las costas de la isla bajo una ola de calor marino de **nivel de alerta 1**, o de carácter leve. Sin embargo, cuando esta se expandía por toda la región, parte de su extensión espacial se ha disipado debido al efecto de mezcla generado por el Huracán Erin.



**B**  
 FIGURA 15. Clasificación actual del NOAA Coral Reef Watch Program de la ola de calor marino atravesando la zona de Puerto Rico. Accedido: A) 16 de junio de 2025; B) 21 de agosto de 2025. Fuente: [https://coralreefwatch.noaa.gov/data\\_current/marine\\_heatwave/v1.0.1/daily/png/noaa-crw\\_mhw\\_v1.0.1\\_category\\_prusvi\\_current.png](https://coralreefwatch.noaa.gov/data_current/marine_heatwave/v1.0.1/daily/png/noaa-crw_mhw_v1.0.1_category_prusvi_current.png)

## VI. Patrones globales de la temperatura del mar y la dinámica de El Niño y La Niña

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 las primeras dos semanas de junio 2025 mostró una tendencia de cambios en la anomalía térmica negativa, alcanzando  $+0.283^{\circ}\text{C}$ , sugiriendo condiciones de neutralidad (Figura 16). A mediados de agosto, dicha anomalía se mantuvo en  $+0.126^{\circ}\text{C}$ .

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 Niño 3.4 del Océano Pacífico tropical (ver Figura 2), que es un área ubicada entre los  $120^{\circ}\text{W}$  y  $170^{\circ}\text{W}$  de longitud y los  $5^{\circ}\text{N}$  y  $5^{\circ}\text{S}$  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.

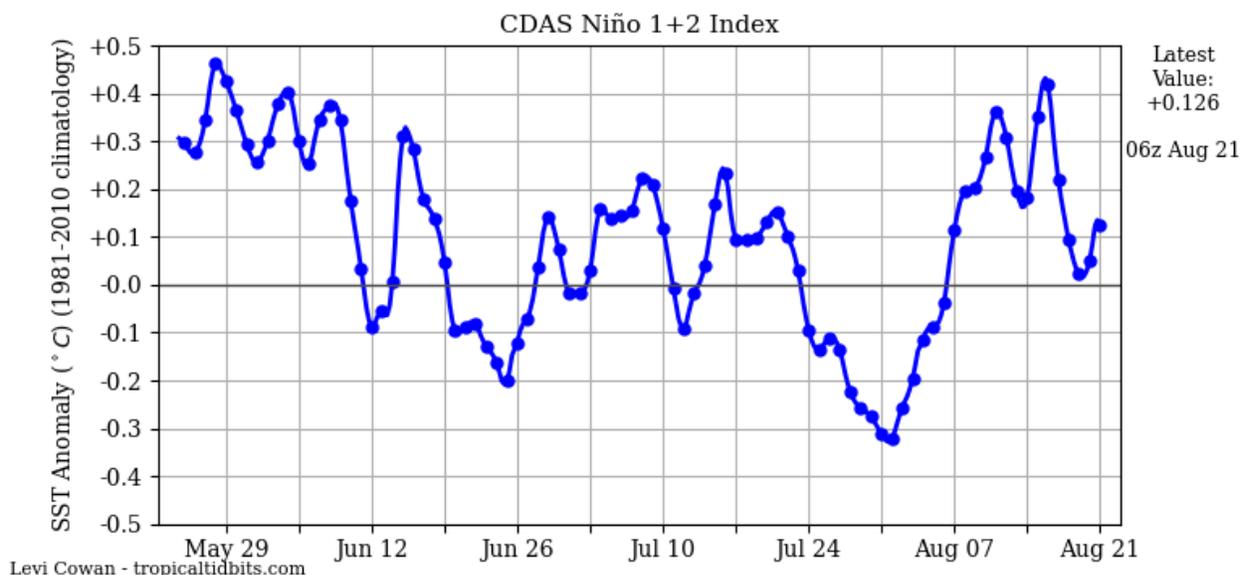


FIGURA 16. Patrones de variación reciente en la anomalía térmica del mar en las regiones 1 y 2 de El Niño a través del Océano Pacífico en la circulación Walker. Fuente: <https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/nino12.png> (accedido: 21 de agosto de 2025).

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  $+0.5^{\circ}\text{C}$  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 16 se evidencia una transición hacia condiciones de neutralidad.

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 las primeras dos semanas de junio 2025 mostró una anomalía sostenida negativa de  $-0.350^{\circ}\text{C}$  y de  $-0.636^{\circ}\text{C}$  durante agosto, sugiriendo condiciones entre la neutralidad y La Niña (Figura 17).

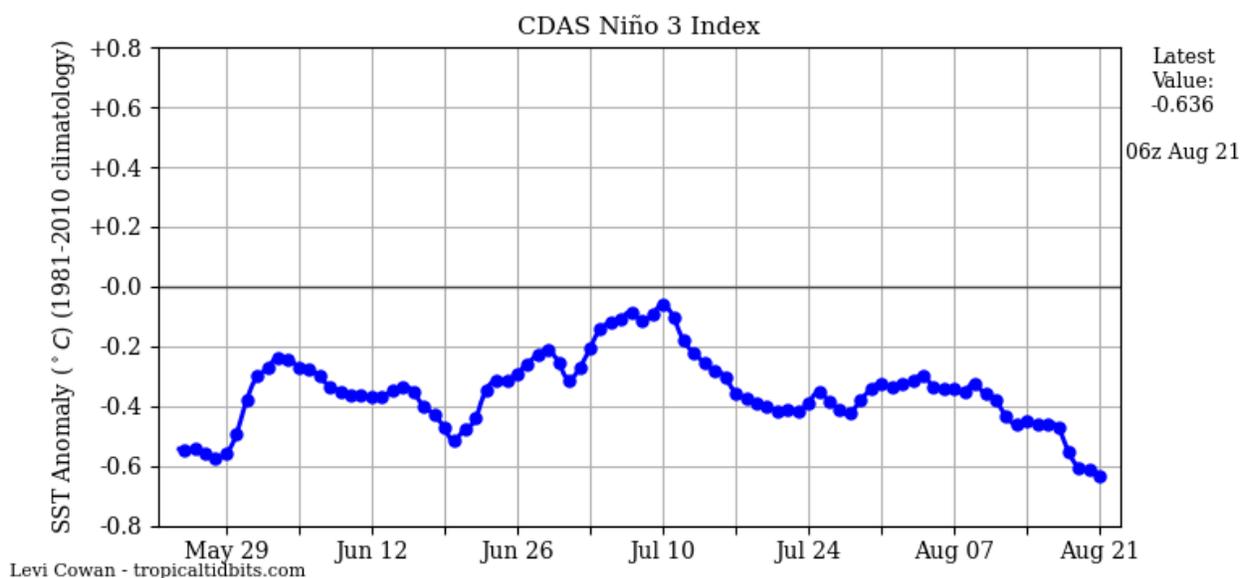


FIGURA 17. Patrones de variación reciente en la anomalía térmica del mar en la región 3 de El Niño a través del Océano Pacífico en la circulación Walker. Fuente: <https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/nino3.png> (accedido: 21 de agosto de 2025).

El índice CDAS para la región de El Niño 4 en la zona del centro del Pacífico tropical para el mismo período mostró un leve incremento reciente de la anomalía, alcanzando  $+0.074^{\circ}\text{C}$  durante junio y  $-0.189^{\circ}\text{C}$  durante agosto, típico de condiciones neutrales. (Figura 18).

Por el contrario, el índice CDAS evidenció para la región del Caribe durante las primeras dos semanas de junio de 2025 una tendencia de anomalías térmicas negativas, alcanzando un valor de  $-0.214^{\circ}\text{C}$  y  $+0.638^{\circ}\text{C}$  durante agosto (Figura 19). Esto igualmente evidencia un cambio rápido de la neutralidad hacia el calentamiento durante agosto.

El índice CDAS para la región de las latitudes medias del Océano Atlántico para el mismo período ha mostrado también una anomalía térmica positiva desde alrededor  $+0.742^{\circ}\text{C}$  durante junio y de  $+0.452^{\circ}\text{C}$  durante agosto (Figura 20). Esto sugiere el impacto de una ola de calor marino moderada a través de todo el Atlántico.

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  $-0.343^{\circ}\text{C}$  durante junio y de  $-0.256^{\circ}\text{C}$  durante agosto (Figura 21).

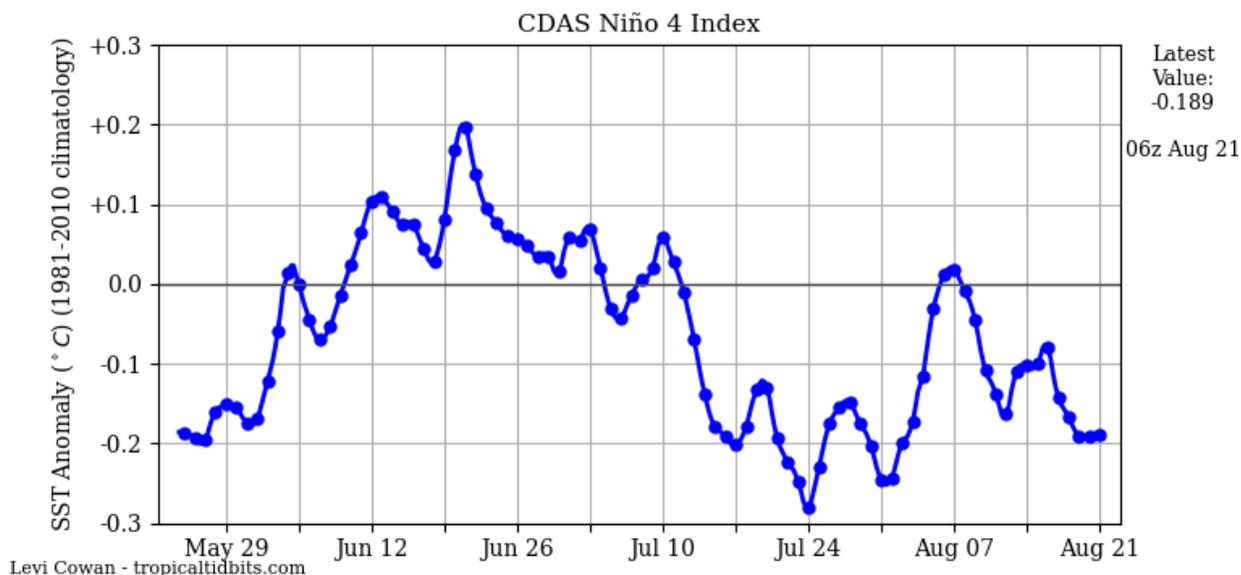


FIGURA 18. Patrones de variación reciente en la anomalía térmica del mar en la región 4 de El Niño a través del Océano Pacífico en la circulación Walker. Fuente: <https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/nino4.png> (accedido: 21 de agosto de 2025).

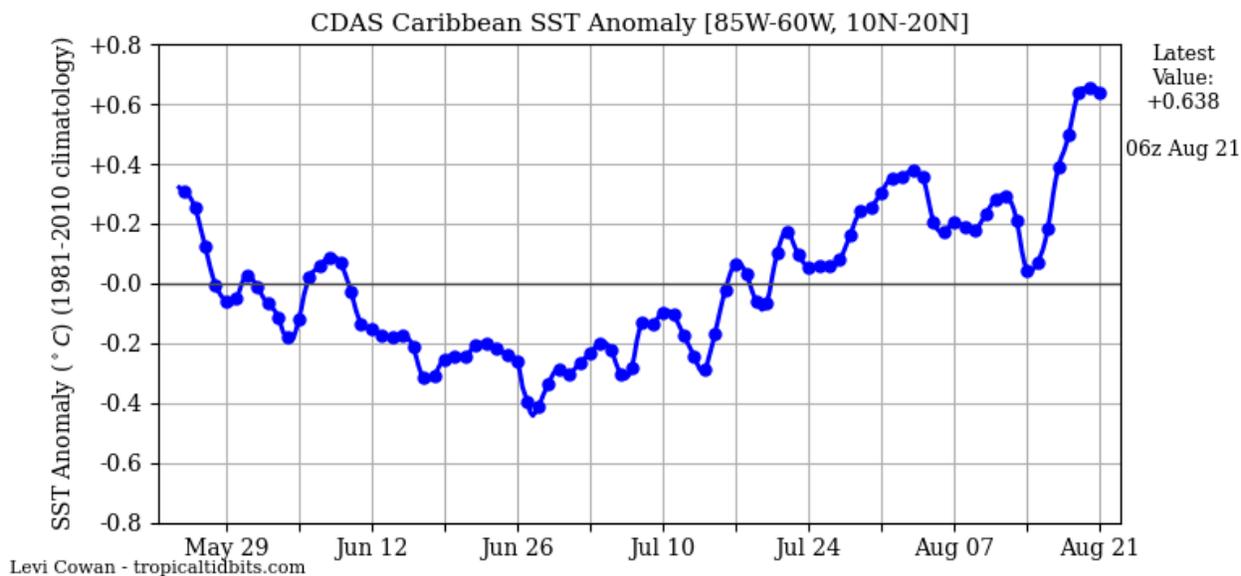


FIGURA 19. Patrones de variación reciente en la anomalía térmica del mar en la región del Mar Caribe. Fuente: <https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/carssta.png> (accedido: 21 de agosto de 2025).

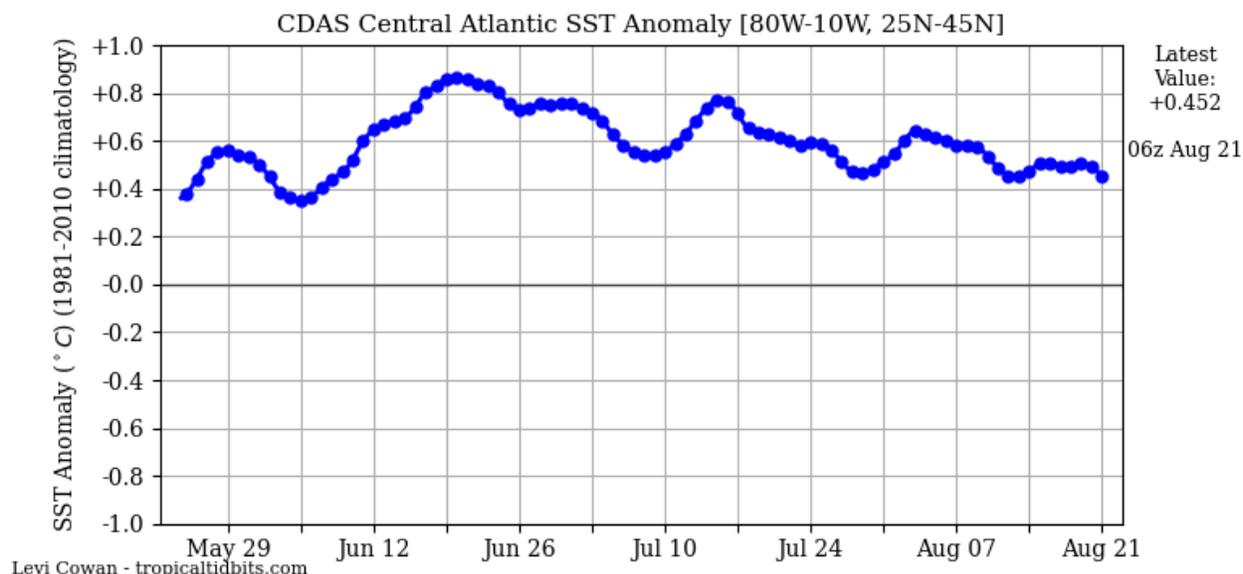


FIGURA 20. Patrones de variación reciente en la anomalía térmica del mar en la región de las latitudes medias del Atlántico norte. Fuente: <https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/catssta.png> (accedido: 21 de agosto de 2025).

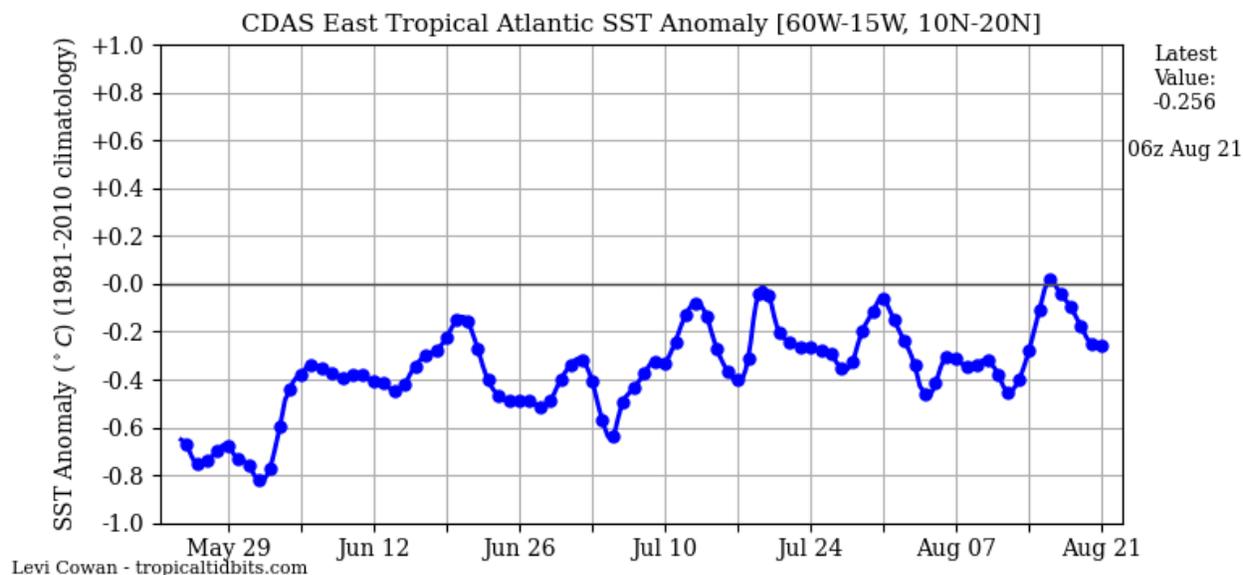


FIGURA 21. Patrones de variación reciente en la anomalía térmica del mar en la región del Atlántico tropical del este. Fuente: <https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/eatssta.png> (accedido: 21 de agosto de 2025).

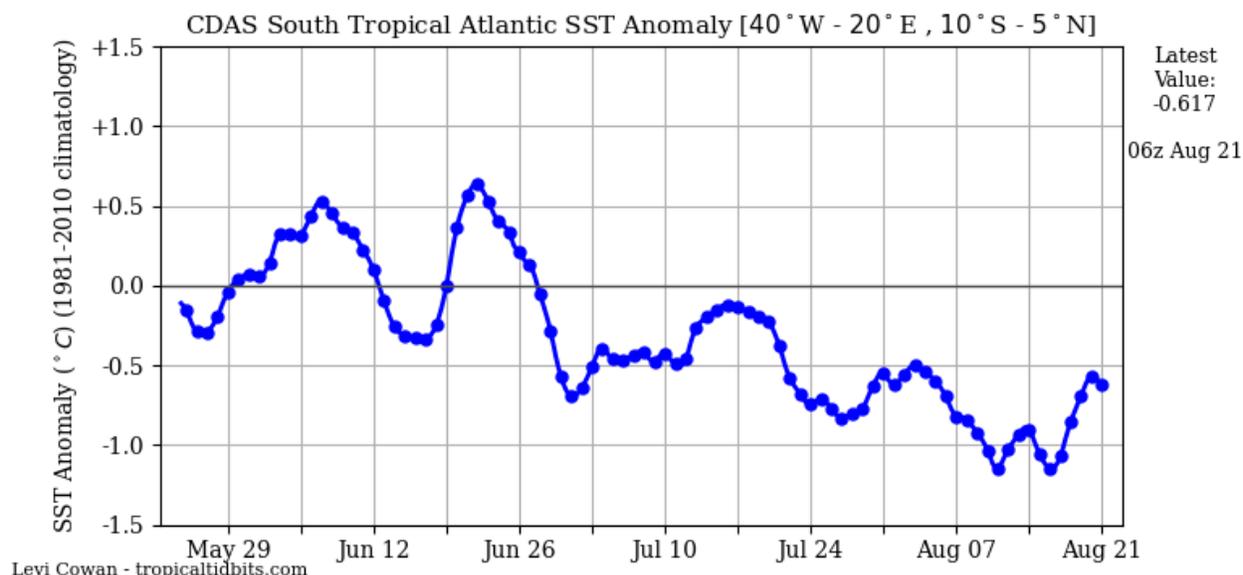


FIGURA 22. Patrones de variación reciente en la anomalía térmica del mar en la región del Atlántico tropical del sur. Fuente: <https://www.tropicaltidbits.com/analysis/ocean/satlssta.png> (accedido: 21 de agosto de 2025).

La región del Océano Atlántico tropical del sur para las primeras dos semanas de junio de 2025 mostró una reducción notable en la anomalía térmica desde valores de +0.550°C hasta un valor de -0.323°C a mediados de junio, descendiendo hasta -0.617°C durante agosto, un valor que tiende hacia el raro desarrollo leve de una condición más típica de La Niña en el Atlántico tropical sur (Figura 22).

Los valores observados en el índice CDAS para la región del Caribe y el Atlántico tropical evidencian inequívocamente las tendencias de neutralidad térmica, sugiriendo un proceso gradual y lento de calentamiento del mar en la zona, el cual, al momento, no parece desviarse demasiado por encima de la climatología promedio. Además, estas observaciones evidencian la ausencia total de influencias por parte de los fenómenos de El Niño o de La Niña en cuanto a los patrones de variación espacio-temporal y magnitud de las anomalías térmicas, con la excepción del Atlántico sur, que tiene levemente hacia la condición de La Niña. Por lo demás, las condiciones neutrales son las predominantes.

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

## VIII. Evidencia documental de los riesgos de blanqueamiento de corales para Puerto Rico y el Caribe durante el 2025 – 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 agosto de 2025 (Figura 23). Esta mostraba entonces una temperatura promedio de 29.66°C, con una anomalía térmica de +1.08°C, un hot spot aun de 0.92°C y una acumulación de semanas consecutivas de calor estresante o Degree Heating Weeks (DHWs) de 0.75. En esta estación se ha declarado ya un **aviso de blanqueamiento** desde el 10 de agosto de 2025.

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 29.17°C, con una anomalía térmica de +1.20°C, un hot spot aun de 1.00°C y una acumulación de DHWs de 0.91 desde el 9 de agosto de 2025 (Figura 24). En esta estación se ha declarado también un **aviso de blanqueamiento**. Tanto en Puerto Rico como en las Islas Vírgenes Americanas estas condiciones son conducentes al menos a un blanqueamiento parcial de corales en las próximas 4 a 8 semanas de permanecer o agravarse el estrés térmico actual.

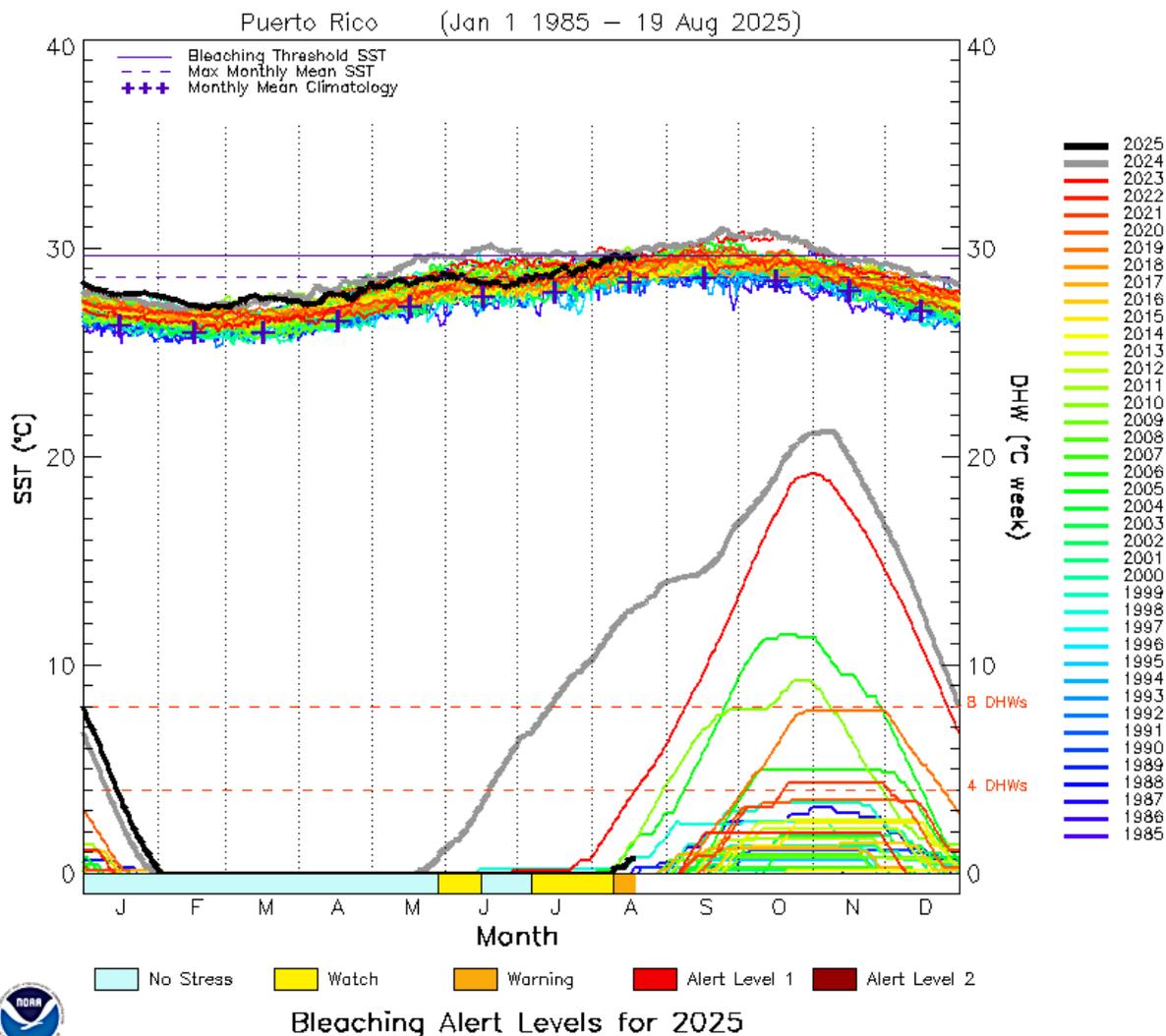


FIGURA 23. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2024) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en Puerto Rico. Fuente: [https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs/timeseries/caribbean.php#puerto\\_rico](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs/timeseries/caribbean.php#puerto_rico) (accedido: 21 de agosto de 2025).

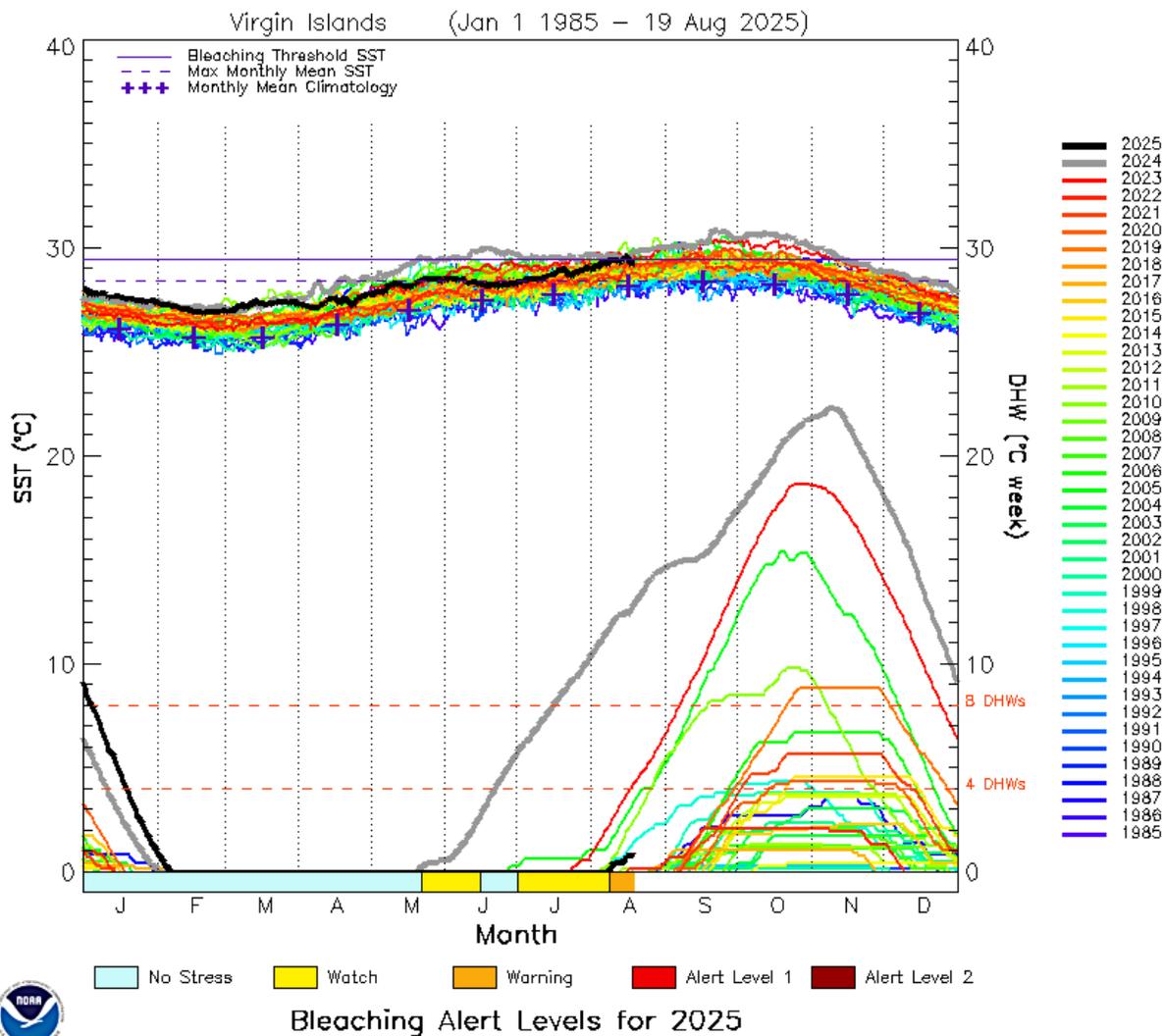


FIGURA 24. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2024) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en las Islas Vírgenes Estadounidenses. Fuente: [https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs/timeseries/caribbean.php#virgin\\_islands](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs/timeseries/caribbean.php#virgin_islands) (accedido: 21 de agosto de 2025).

La Figura 25 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.

Aunque efímeramente entre mediados de mayo y comienzos de junio, varias estaciones mostraron condiciones de **vigilancia de blanqueamiento** de corales, durante mediados de junio de 2025, ninguna de las 16 estaciones virtuales de Puerto Rico mostraba señal alguna de estrés térmico. Sin embargo, la totalidad de las estaciones evidenció durante el mes de julio estrés térmico y el restablecimiento de condiciones de **vigilancia de blanqueamiento** (Tabla 2). En agosto 9 estaciones (56%) estaban bajo **vigilancia de blanqueamiento**, mientras 7 estaciones (44%) estaban bajo **aviso de blanqueamiento**. En promedio, las 16 estaciones virtuales de isla de Puerto Rico presentaban en agosto una temperatura de 29.32°C, lo que representa una anomalía media de +0.8711°C, una anomalía por arriba del MMM de +0.6769°C y una acumulación promedio de 0.1614 DHWs.

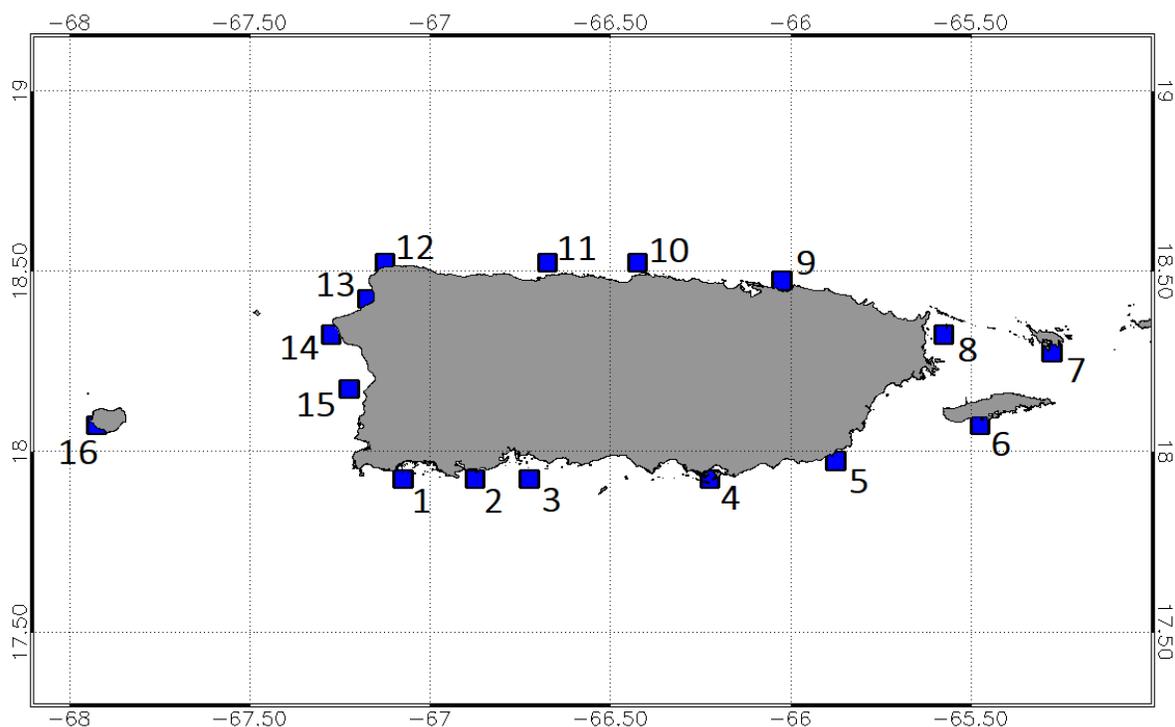


FIGURA 25. A) Estaciones virtuales del NOAA Coral Reef Watch Program en Puerto Rico del nuevo producto experimental de para el monitoreo de la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en estaciones selectas (1. La Parguera; 2. Guánica; 3. Guayanilla; 4. Salinas; 5. 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](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 este evidenciaban la mayor temperatura promedio del mar a mediados de agosto de 2025 con 29.43°C, lo que representaba una anomalía térmica de +1.11°C (Tabla 2). La costa sur presentaba promedio de 29.39°C o una anomalía de +0.86°C. La temperatura promedio de la costa oeste fue de 29.28°C, con una anomalía de +0.66°C, mientras que el promedio del norte fue de 29.18°C, con una anomalía de +0.85°C. Al momento, las temperaturas de las costas este, sur y oeste ya evidencian condiciones estresantes conducentes al blanqueamiento de los corales. Aun así, la costa norte, en promedio, evidencia condiciones anómalas positivas con relación a la temperatura promedio usual de la época, lo que constituye condiciones potencialmente conducentes a la intensificación gradual durante los próximos meses del calor marino.

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	29.42	+0.7994	28.78	+0.64	Aviso	0.4514
2 Guánica	29.40	+0.8310	28.73	+0.68	Aviso	0.3143
3 Guayanilla	29.40	+0.8694	28.69	+0.71	Aviso	0.3014
4 Salinas	29.35	+0.9381	28.63	+0.72	Vigilancia	0
5 Maunabo	29.47	+1.1339	28.58	+0.89	Aviso	0.3057
6 Vieques	29.46	+1.1216	28.53	+0.93	Aviso	0.4571
7 Culebra	29.38	+1.1055	28.44	+0.94	Aviso	0.3057
8 Fajardo	29.40	+1.0765	28.55	+0.85	Aviso	0.1586
9 San Juan	29.26	+1.0361	28.52	+0.74	Vigilancia	0
10 Vega Baja	29.20	+0.9213	28.54	+0.66	Vigilancia	0
11 Arecibo	29.10	+0.7577	28.54	+0.54	Vigilancia	0
12 Isabela	29.16	+0.6803	28.69	+0.48	Vigilancia	0
13 Aguadilla	29.19	+0.6329	28.74	+0.45	Vigilancia	0
14 Rincón	29.26	+0.5881	28.81	+0.44	Vigilancia	0
15 Cabo Rojo	29.36	+0.6106	28.88	+0.48	Vigilancia	0
16 Mona	29.31	+0.8106	28.64	+0.68	Aviso	0.2886
Promedio Isla	29.32	+0.8711	28.64	+0.6769	Aviso	0.1614
Sur	29.39	+0.8595	28.71	+0.6875	Aviso	0.2668
Este	29.43	+1.1094	28.53	+0.9025	Aviso	0.3068
Norte	29.18	+0.8489	28.57	+0.6050	Vigilancia	0
Oeste	29.28	+0.6606	28.77	+0.5125	Aviso	0.0722

\*A= anomalía; MMM= monthly maximum mean (temperatura promedio mensual máxima= máxima anual). Fecha: 20 de agosto de 2025.

Las Figuras 26 a la 41 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 en agosto de 2025 aun levemente distantes de las temperaturas alcanzadas para la misma época durante el 2023 y el 2024. Sin embargo, las tendencias graduales de calentamiento ya son evidentes en todas las estaciones virtuales, por el momento posicionándose agosto de 2025 entre los cinco meses de agosto más calientes de la historia. Esas condiciones ya conllevan una **vigilancia de**

blanqueamiento de corales en el 56% de las estaciones virtuales y de aviso de blanqueamiento en el restante 44%.

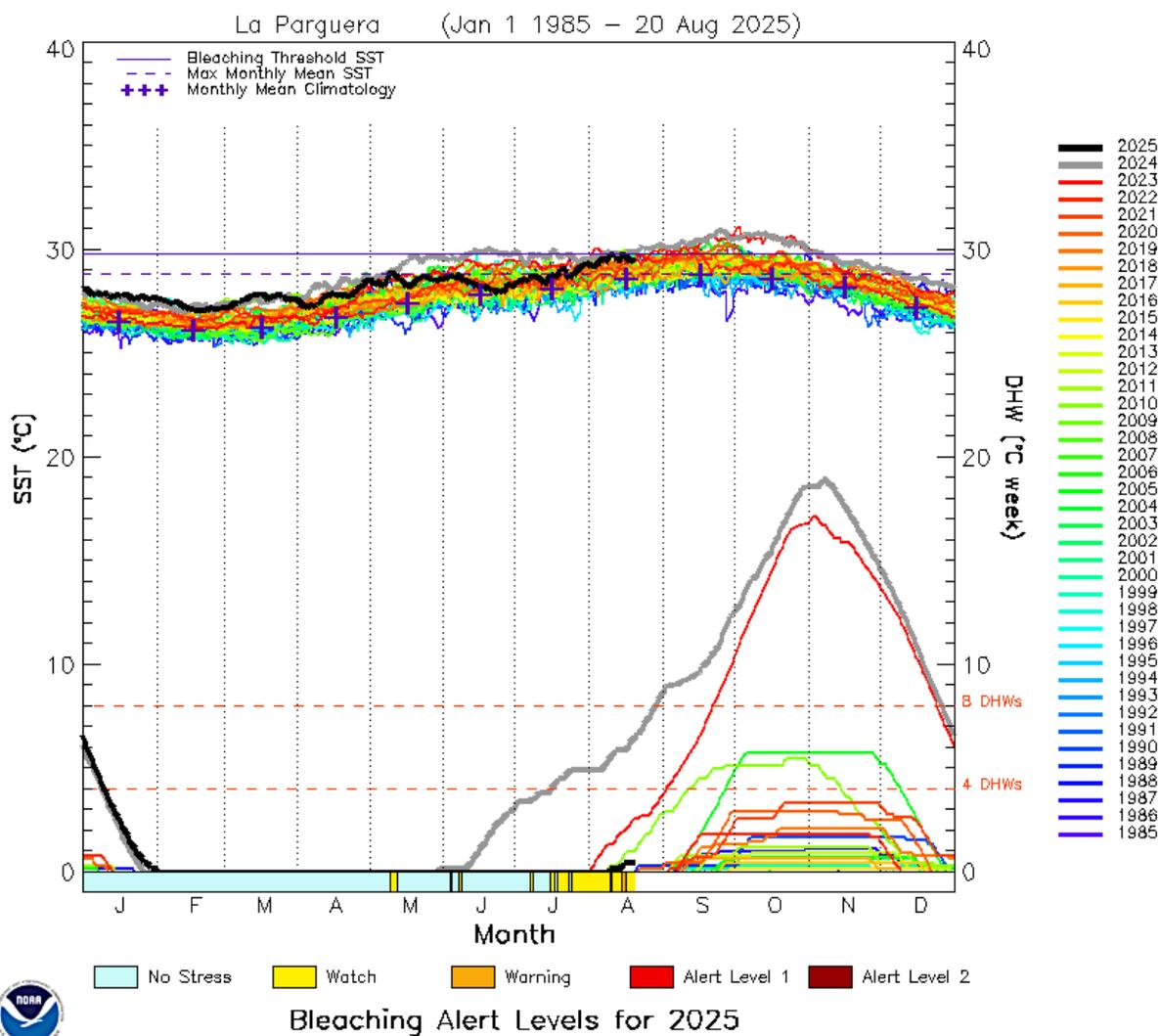


FIGURA 26. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2024) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de La Parguera (accedido el 21 de agosto de 2025).  
[https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs\\_single\\_pixel\\_exp/puerto\\_rico.php#LaParguera](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#LaParguera)

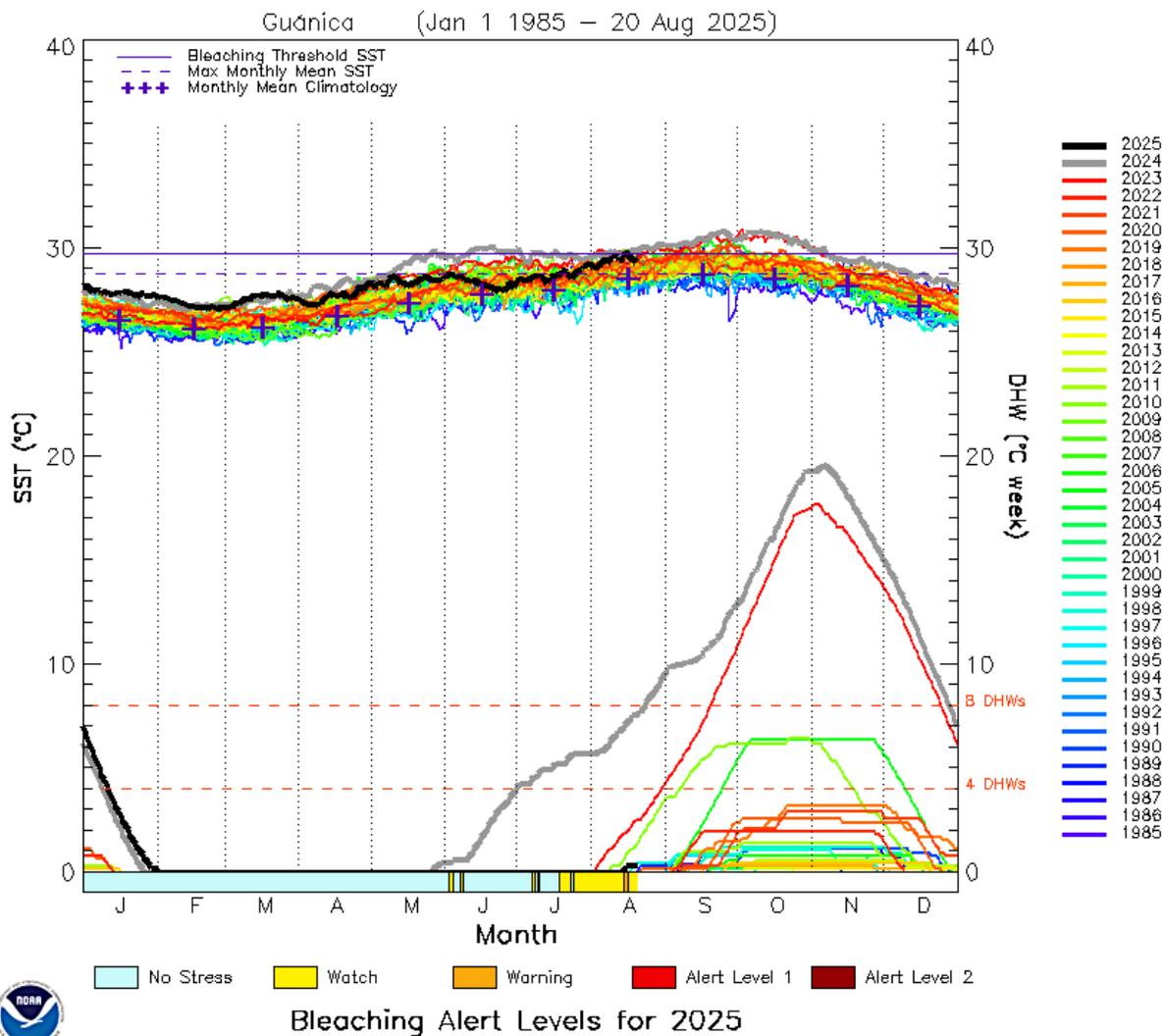


FIGURA 27. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2024) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Guánica (accedido el 21 de agosto de 2025).  
[https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs\\_single\\_pixel\\_exp/puerto\\_rico.php#Guanica](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Guanica)

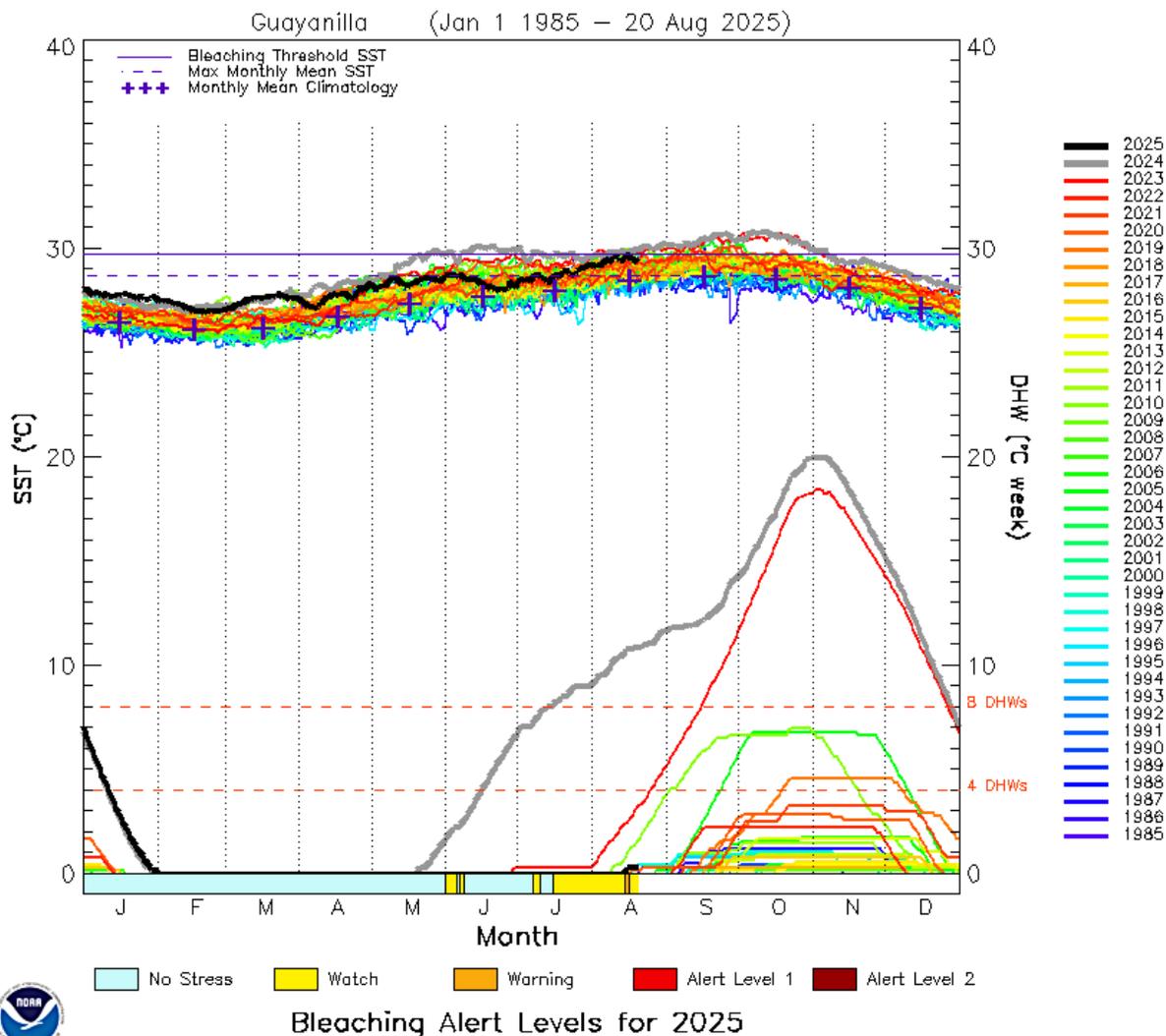


FIGURA 28. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2024) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Guayanilla (accedido el 21 de agosto de 2025).  
[https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs\\_single\\_pixel\\_exp/puerto\\_rico.php#Guayanilla](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Guayanilla)

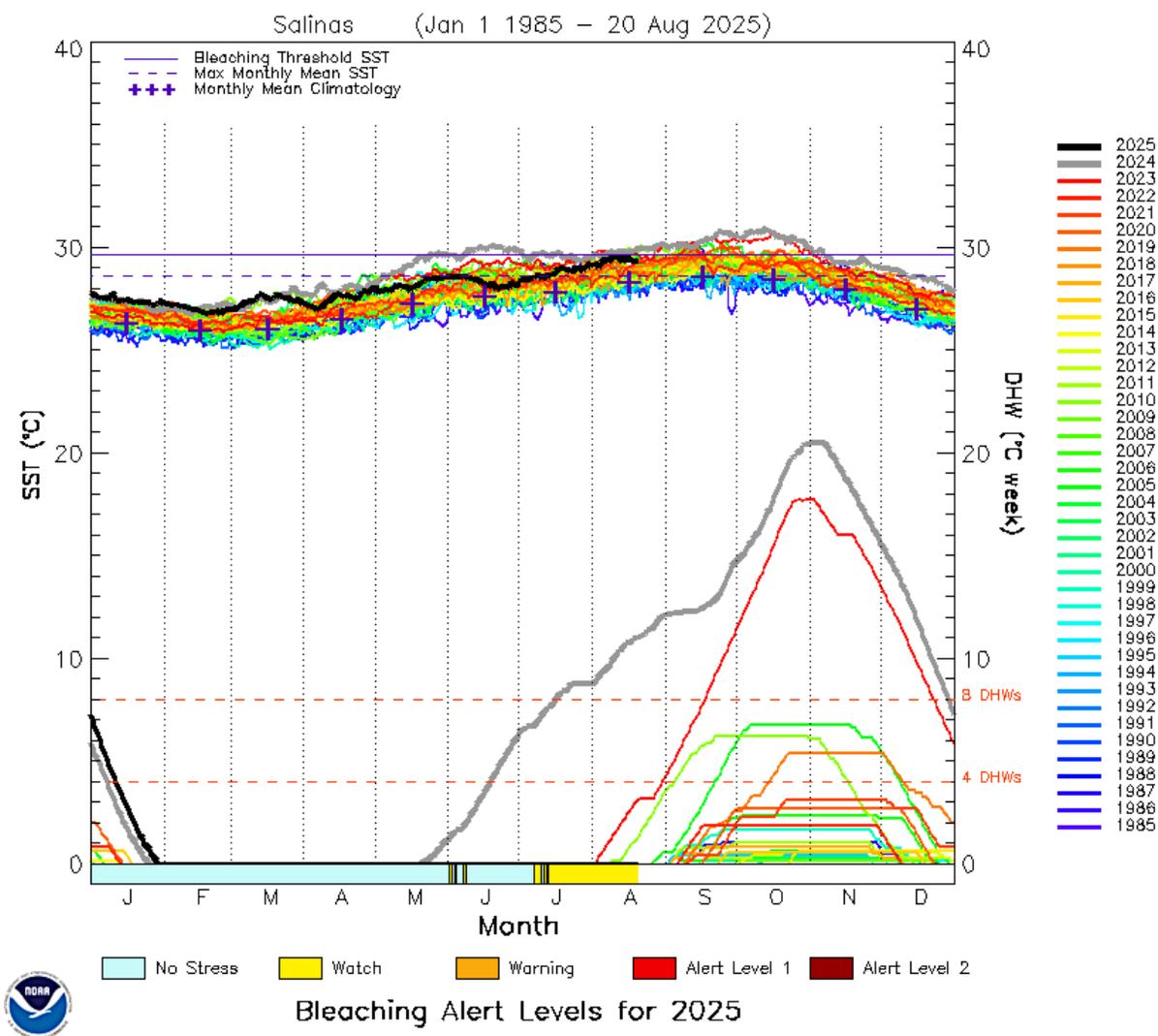


FIGURA 29. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2024) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Salinas (accedido el 21 de agosto de 2025).  
[https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs\\_single\\_pixel\\_exp/puerto\\_rico.php#Salinas](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Salinas)

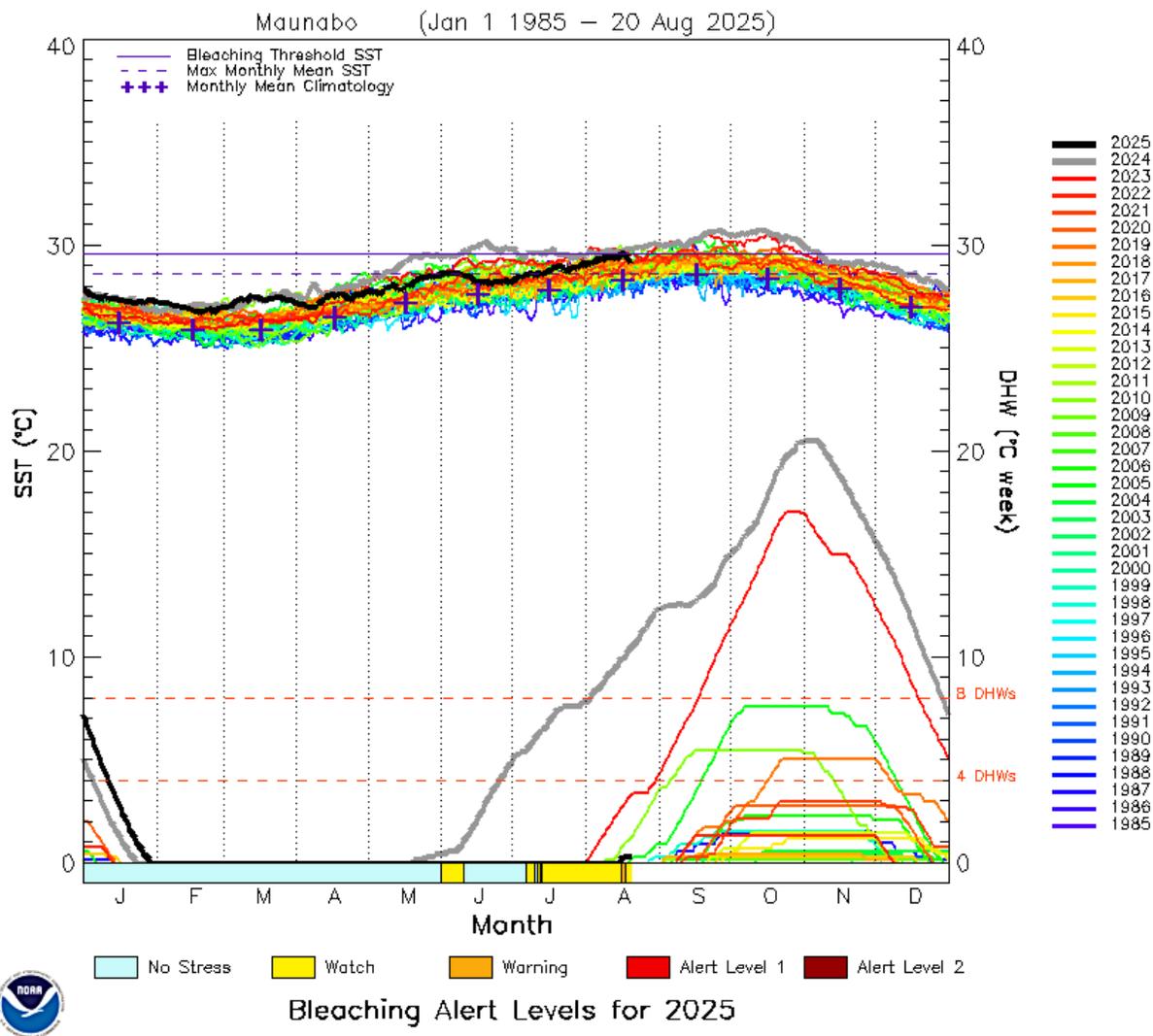


FIGURA 30. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2024) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Maunabo (accedido el 21 de agosto de 2025).  
[https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs\\_single\\_pixel\\_exp/puerto\\_rico.php#Maunabo](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Maunabo)

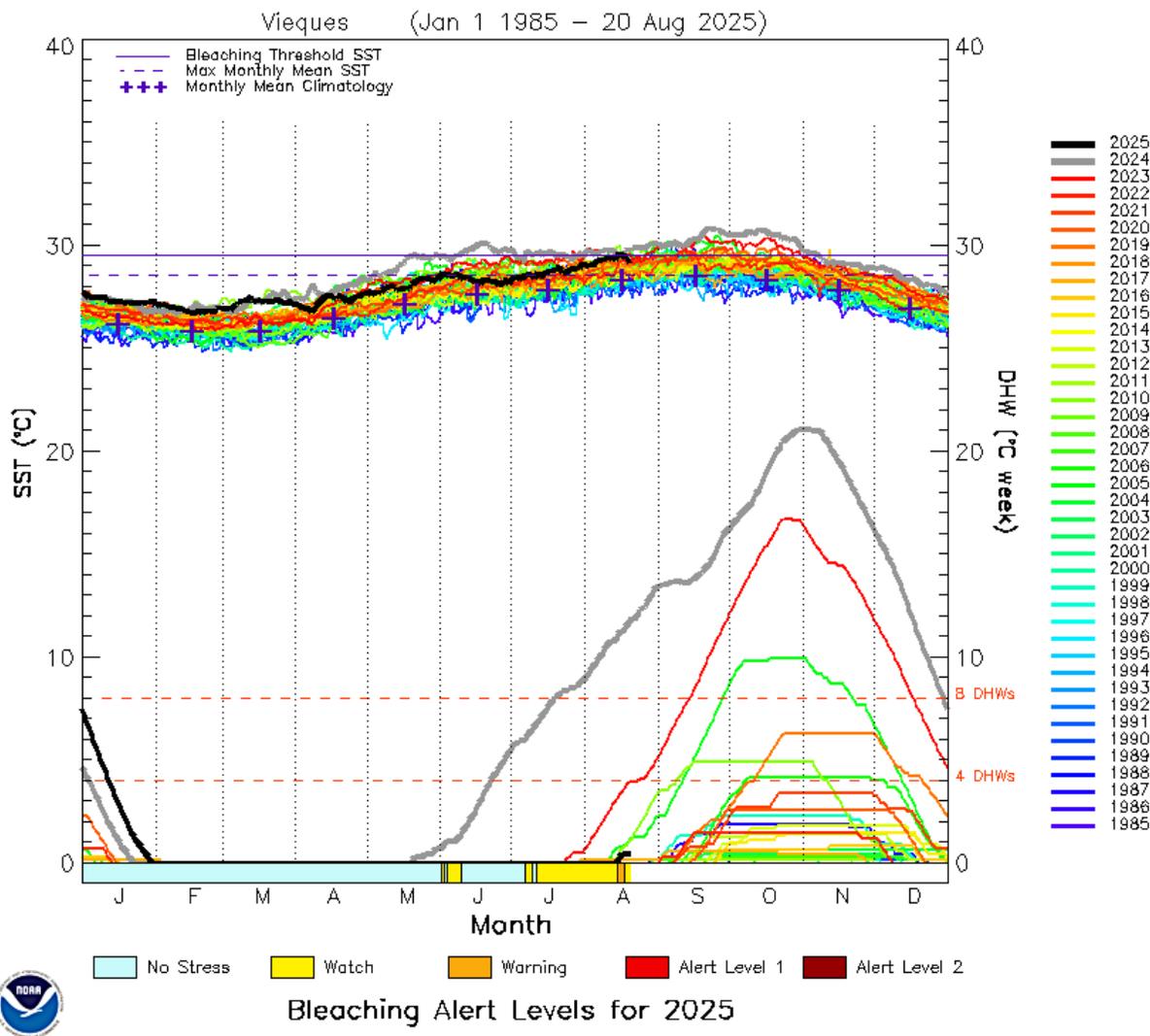


FIGURA 31. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2024) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Vieques (accedido el 21 de agosto de 2025).  
[https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs\\_single\\_pixel\\_exp/puerto\\_rico.php#Vieques](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Vieques)

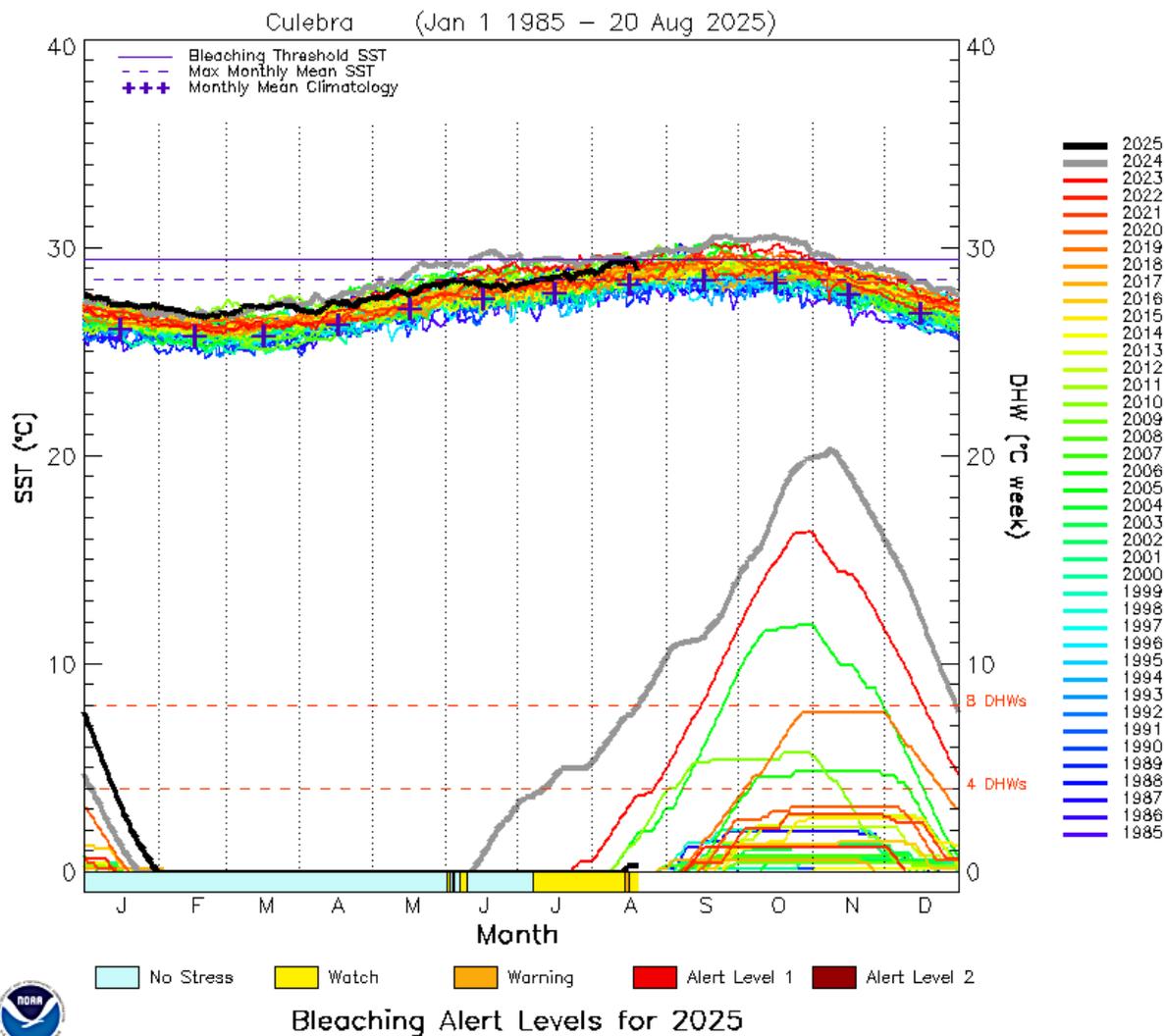


FIGURA 32. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2024) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de la Isla de Culebra (accedido el 21 de agosto de 2025).  
[https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs\\_single\\_pixel\\_exp/puerto\\_rico.php#Culebra](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Culebra)

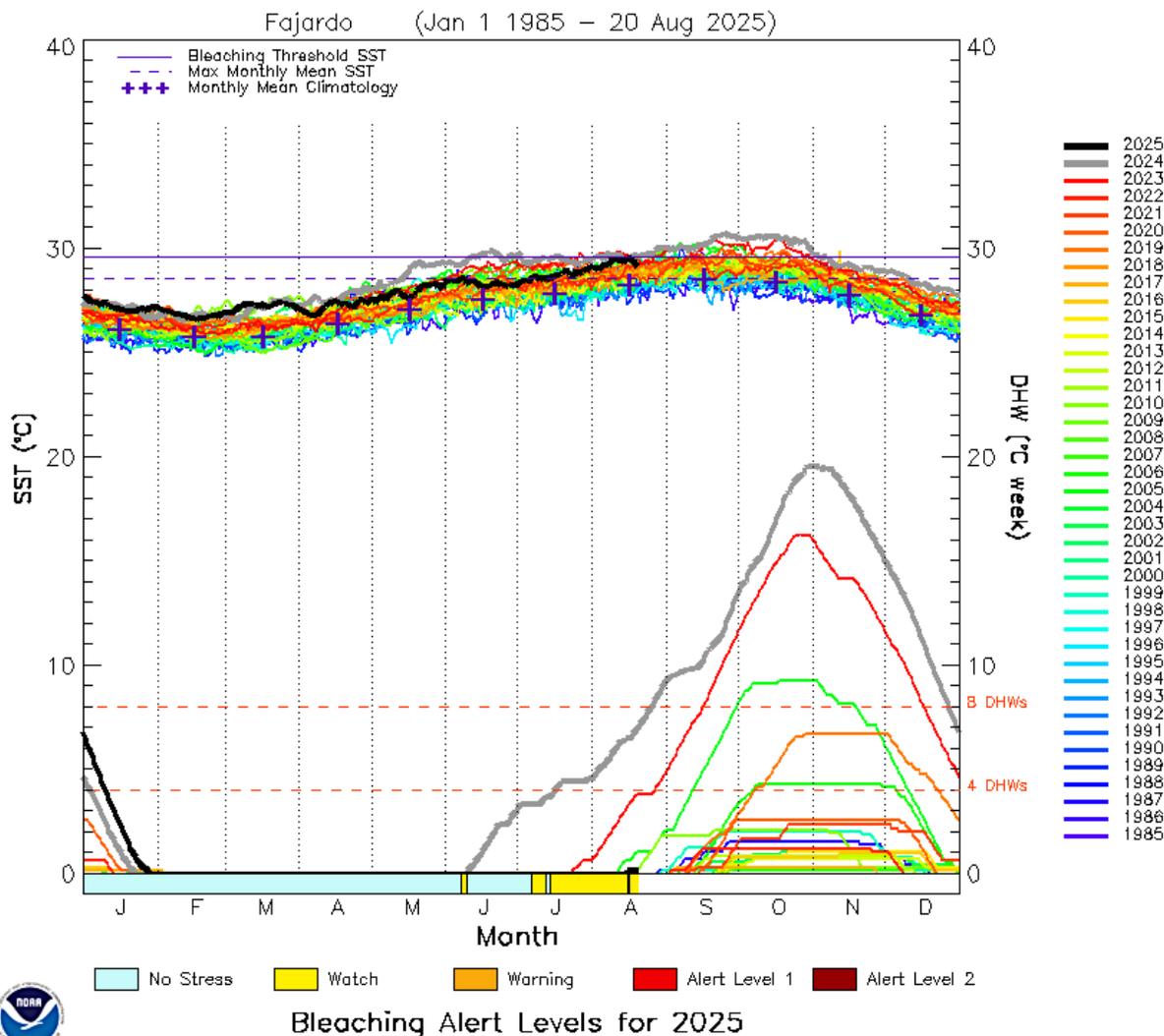


FIGURA 33. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2024) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Fajardo (accedido el 21 de agosto de 2025).  
[https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs\\_single\\_pixel\\_exp/puerto\\_rico.php#Fajardo](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Fajardo)

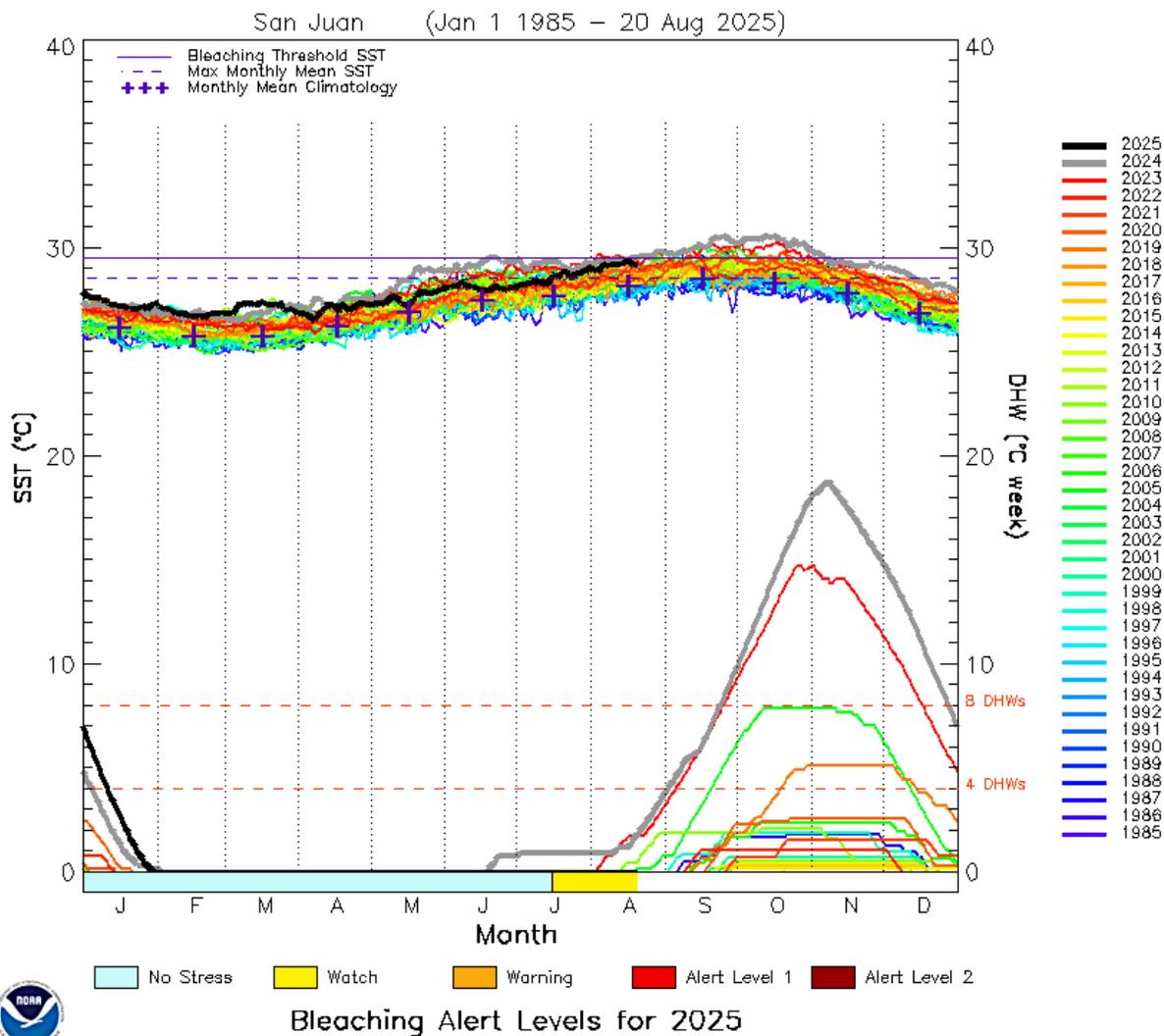


FIGURA 34. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2024) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o "degree heating weeks" (DHWs) en la costa de San Juan (accedido el 21 de agosto de 2025).  
[https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs\\_single\\_pixel\\_exp/puerto\\_rico.php#SanJuan](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#SanJuan)

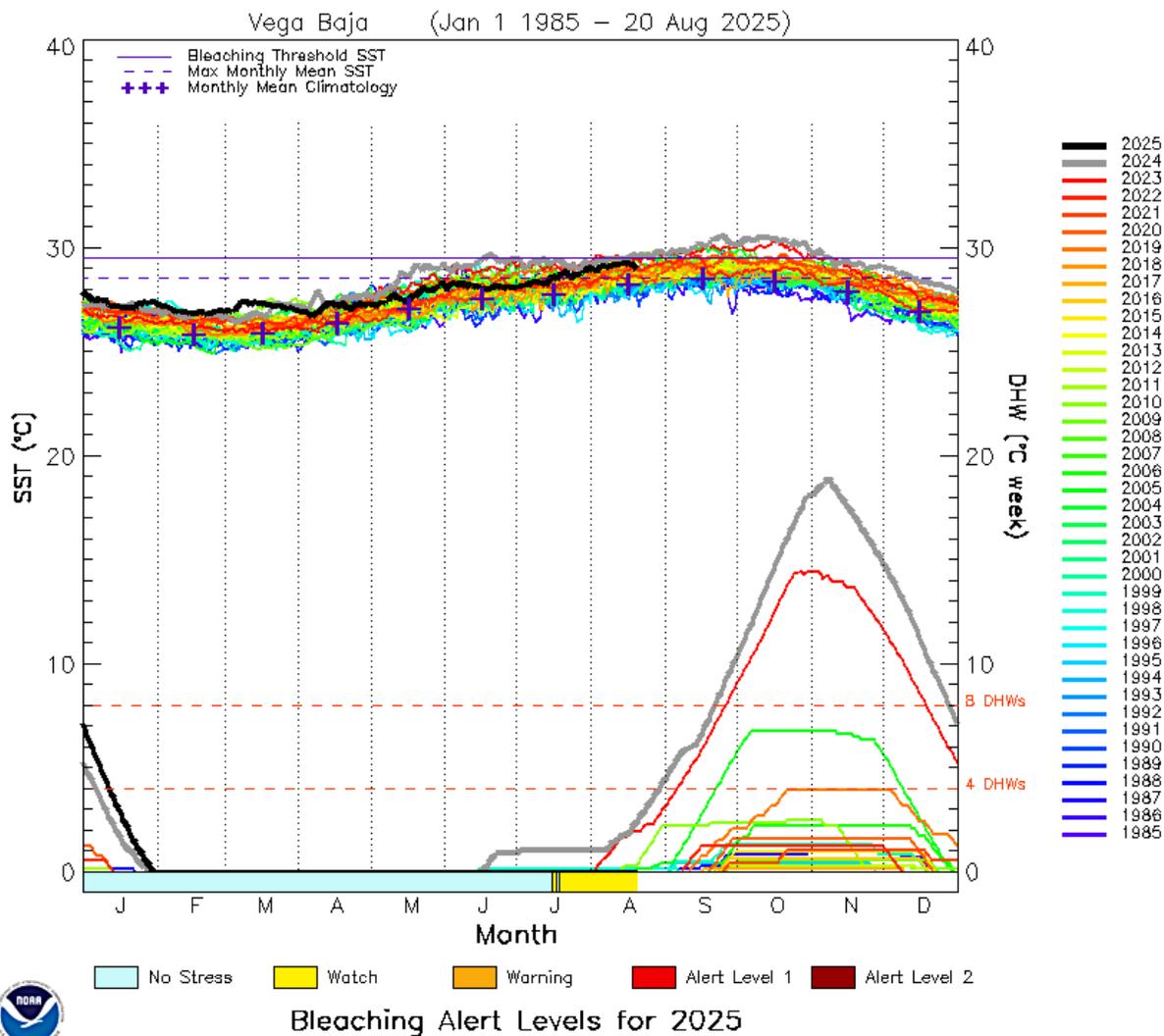


FIGURA 35. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2024) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Vega Baja (accedido el 21 de agosto de 2025).  
[https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs\\_single\\_pixel\\_exp/puerto\\_rico.php#VegaBaja](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#VegaBaja)

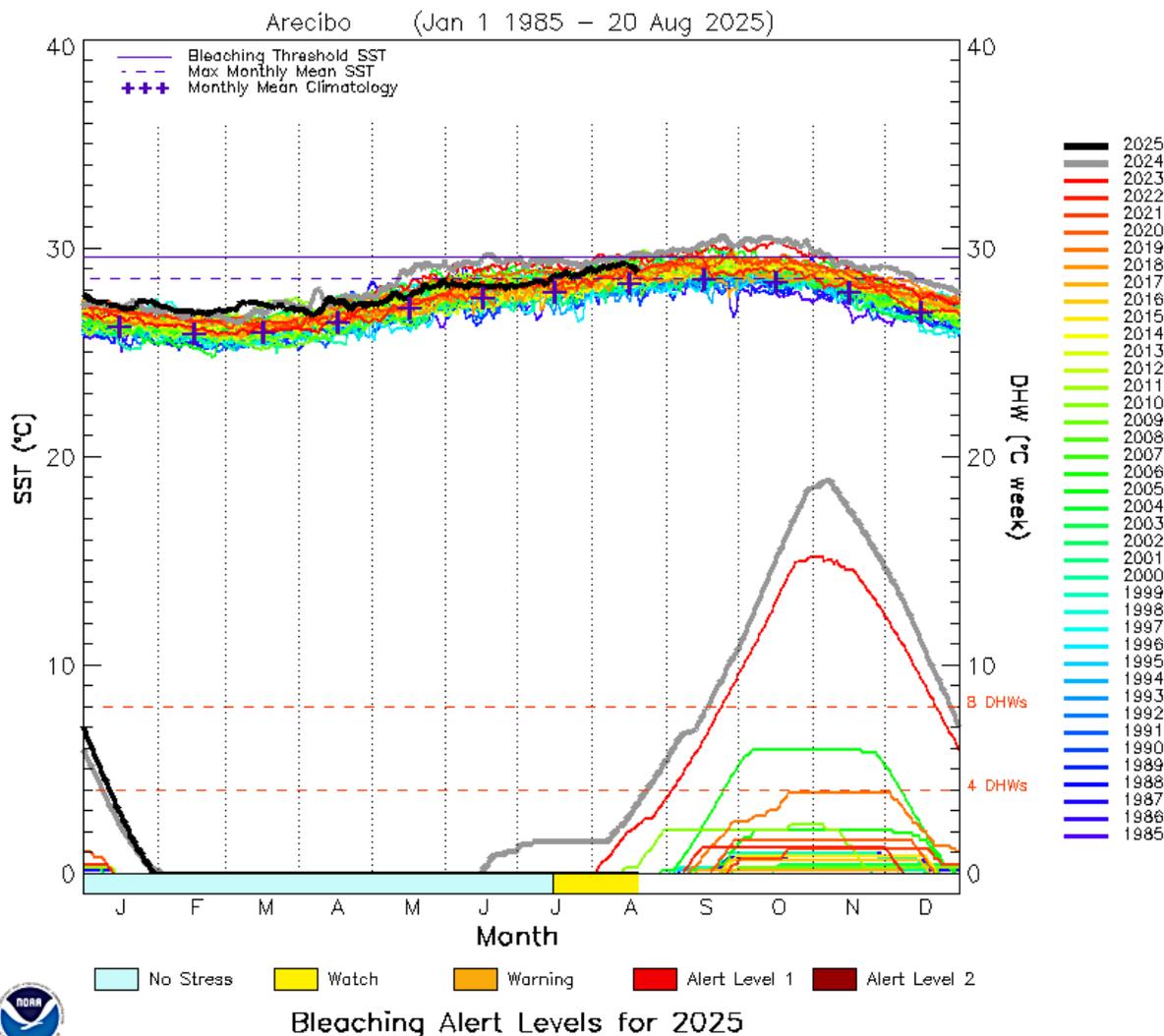


FIGURA 36. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2024) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Arcibo (accedido el 21 de agosto de 2025).  
[https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs\\_single\\_pixel\\_exp/puerto\\_rico.php#Arcibo](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Arcibo)

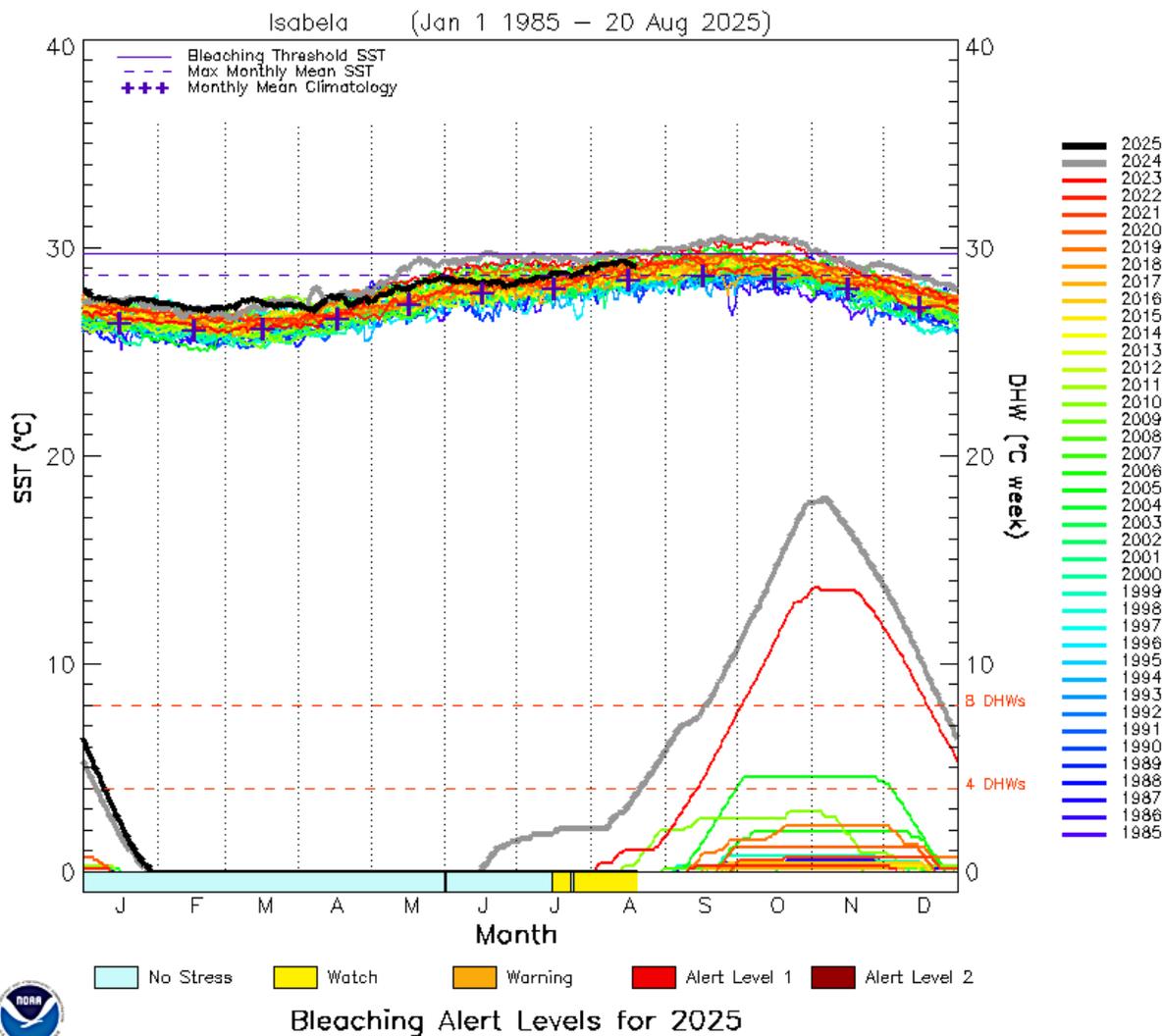


FIGURA 37. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2024) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Isabela (accedido el 21 de agosto de 2025).  
[https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs\\_single\\_pixel\\_exp/puerto\\_rico.php#Isabela](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Isabela)

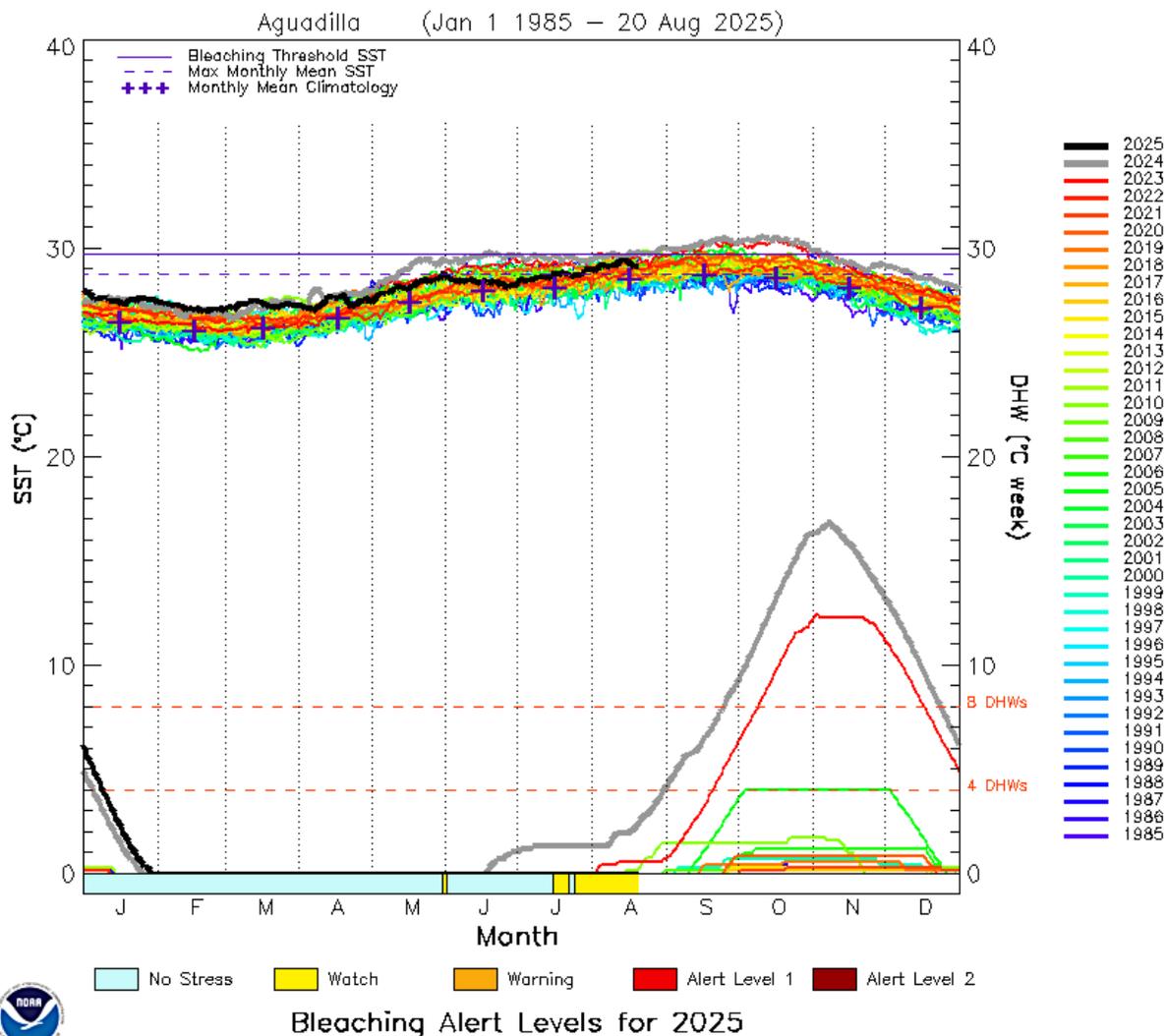


FIGURA 38. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2024) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Agudilla (accedido el 21 de agosto de 2025).  
[https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs\\_single\\_pixel\\_exp/puerto\\_rico.php#Agudilla](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Agudilla)

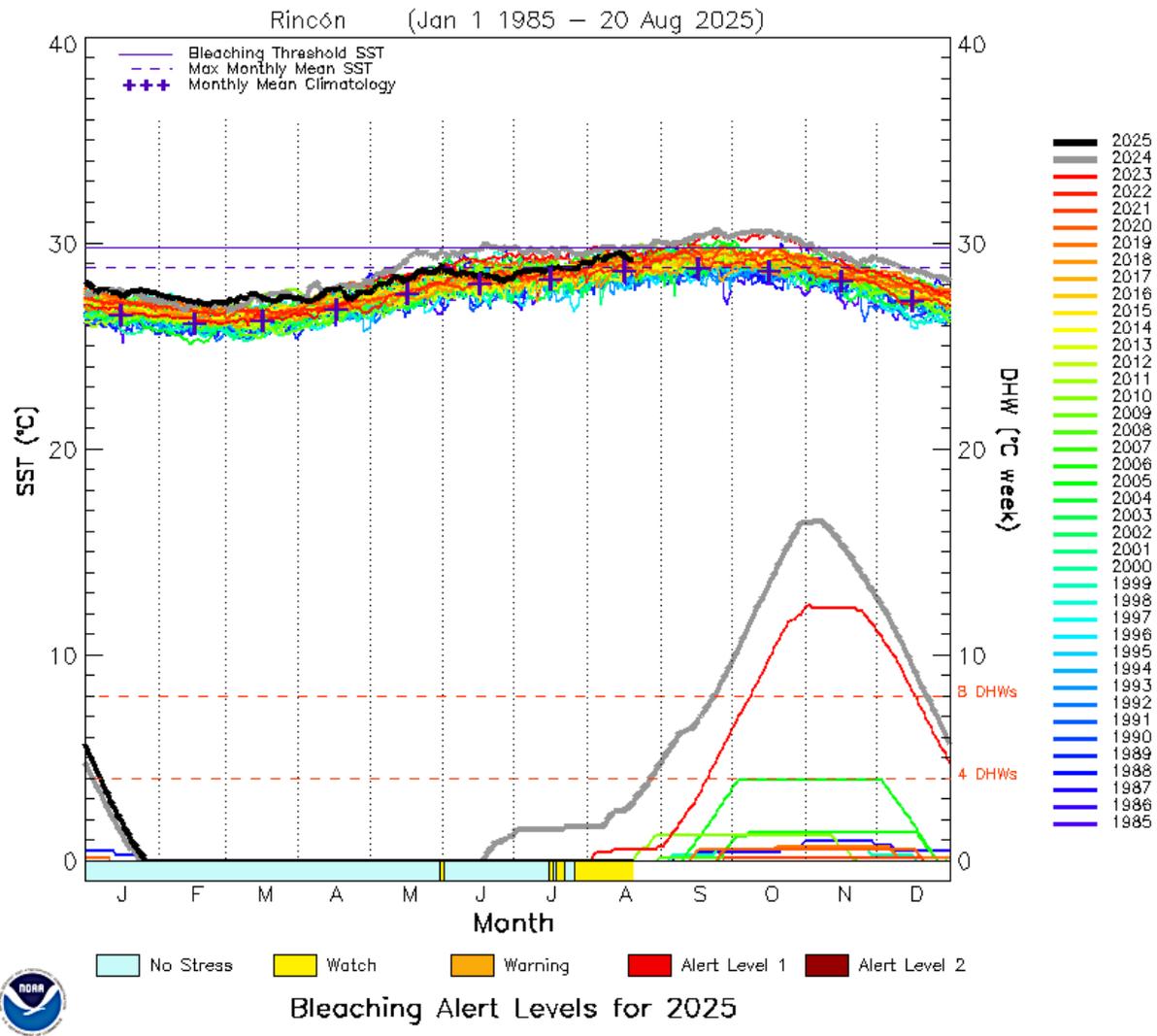


FIGURA 39. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2024) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Rincón (accedido el 21 de agosto de 2025).  
[https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs\\_single\\_pixel\\_exp/puerto\\_rico.php#Rincon](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Rincon)

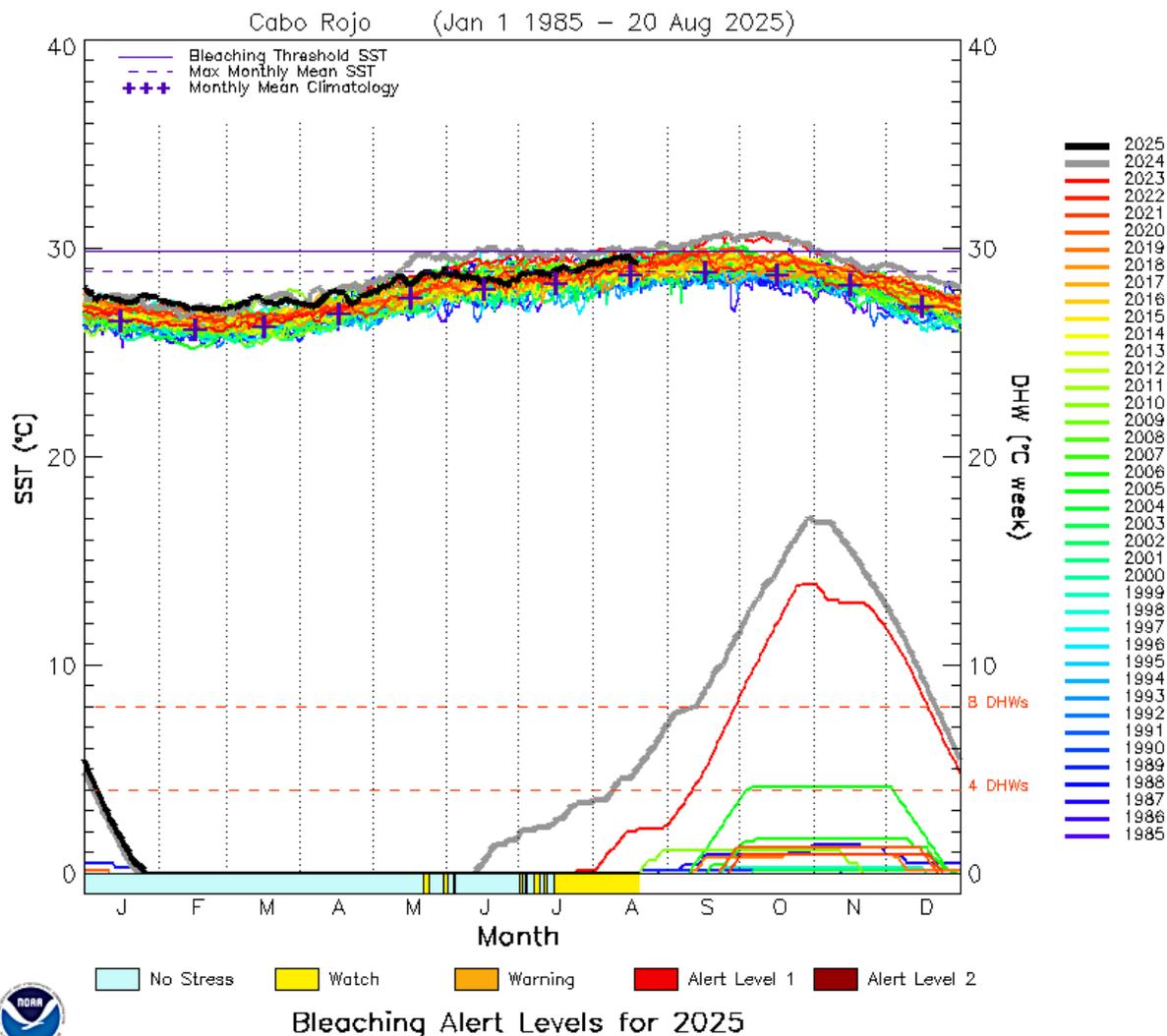


FIGURA 40. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2024) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Cabo Rojo (accedido el 21 de agosto de 2025).  
[https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs\\_single\\_pixel\\_exp/puerto\\_rico.php#CaboRojo](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#CaboRojo)

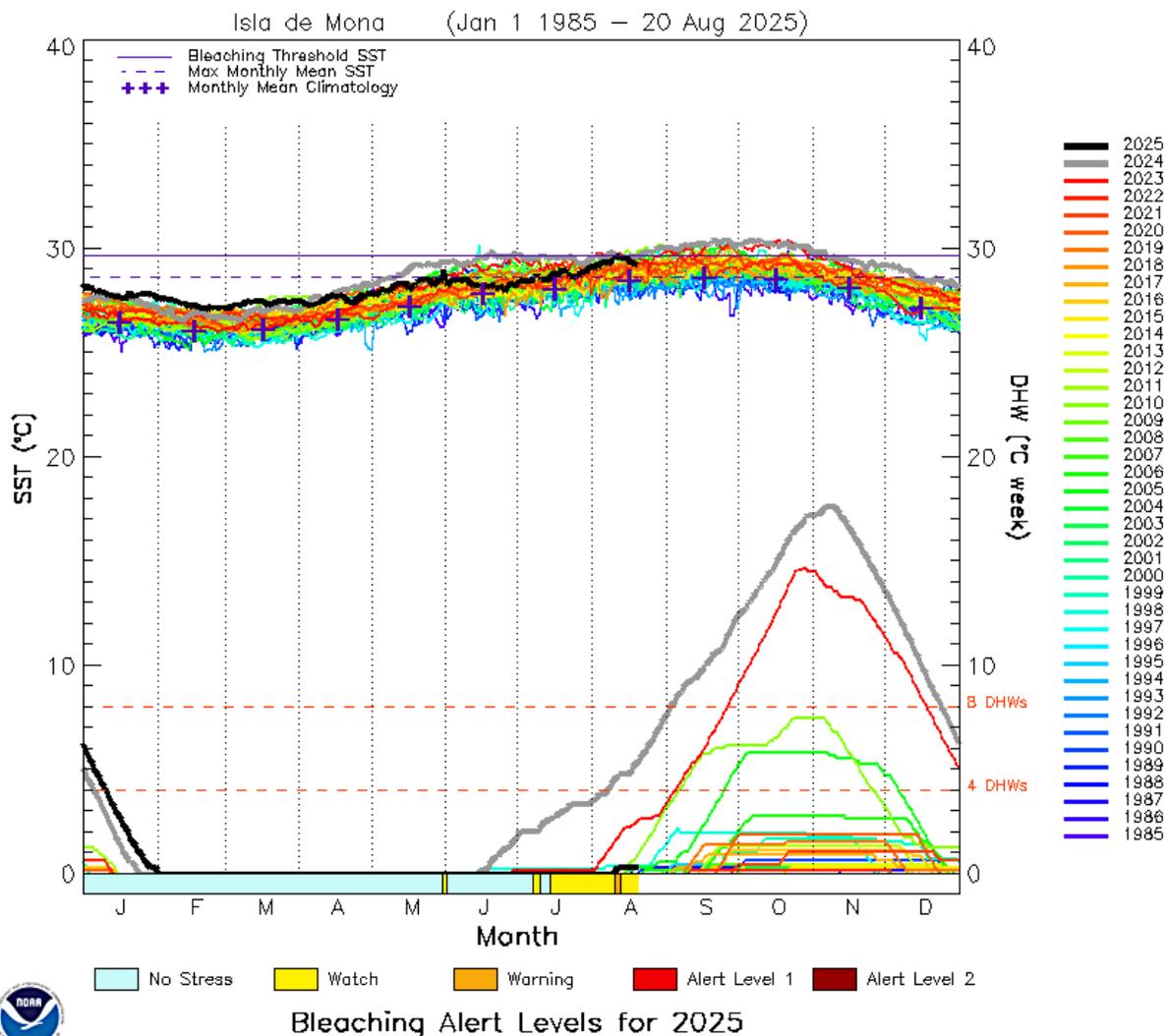


FIGURA 41. Variación anual en la temperatura promedio diaria del mar (1985-2024) y en la acumulación de semanas consecutivas de calor o “degree heating weeks” (DHWs) en la costa de Isla de Mona (accedido el 21 de agosto de 2025).  
[https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs\\_single\\_pixel\\_exp/puerto\\_rico.php#Mona](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs_single_pixel_exp/puerto_rico.php#Mona)

## IX. Proyecciones regionales de blanqueamiento de corales (julio a octubre de 2025) – Coral Reef Watch Program (NOAA)

La Figura 42 ilustra la proyección que hizo a mediados de agosto de 2025 el CRWP de NOAA sobre los riesgos de blanqueamiento de corales para Puerto Rico durante el resto del verano de 2025. Estos muestran que la mitad norte y oeste de las costas de Puerto Rico se encontraba bajo una **vigilancia de blanqueamiento** de corales y el resto de las costas este y casi todo el sur se encontraba bajo **aviso de blanqueamiento**. Esto indica las señales de inicio del estrés térmico sobre los corales del noreste del Caribe y de la isla.

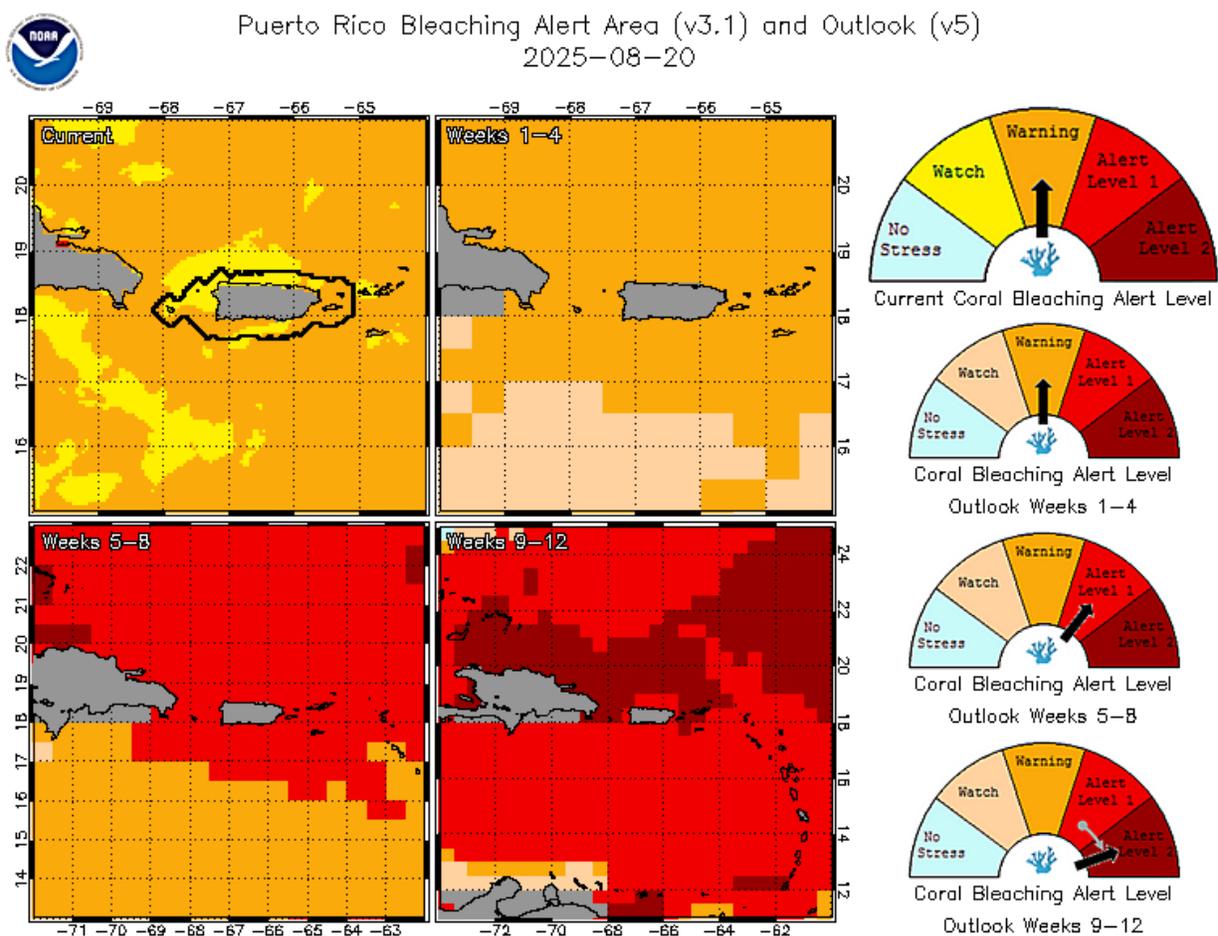


FIGURA 42. Proyecciones potenciales de las alertas de blanqueamiento para Puerto Rico para los meses de agosto a noviembre de 2025. Fuente: [https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs/gauges/puerto\\_rico.php](https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs/gauges/puerto_rico.php) (accedido: 21 de agosto de 2025).

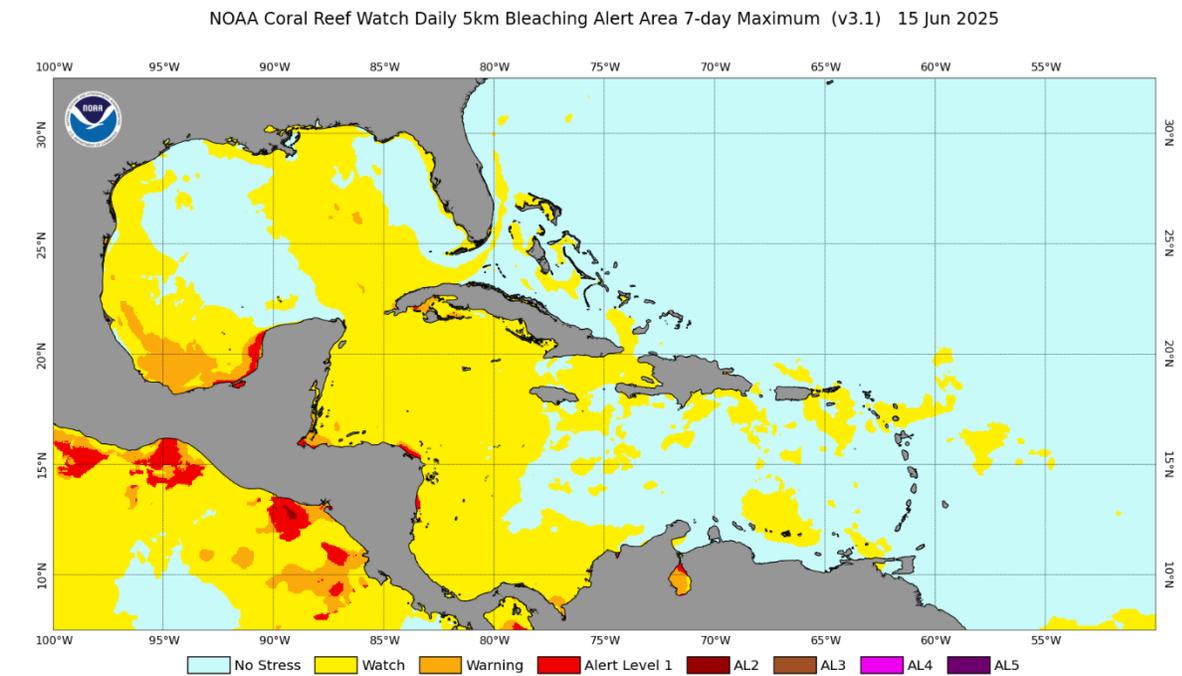
El modelo de predicción del CRWP establece que el **aviso de blanqueamiento de corales** debe prevalecer durante la segunda parte de agosto e inclusive hasta mediados septiembre, con un cambio gradual a **alerta 1 de blanqueamiento** entre septiembre y octubre. Durante el mes de octubre a noviembre se anticipa una condición entre **alerta 1 y alerta 2 de blanqueamiento**. De materializarse dicho escenario, el riesgo de un evento masivo de

blanqueamiento de corales en la isla y en el noreste del Caribe sería de moderado a significativo para la segunda mitad de octubre y la primera mitad de noviembre. 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 blanqueamiento moderado dentro de dos a dos meses y medio.

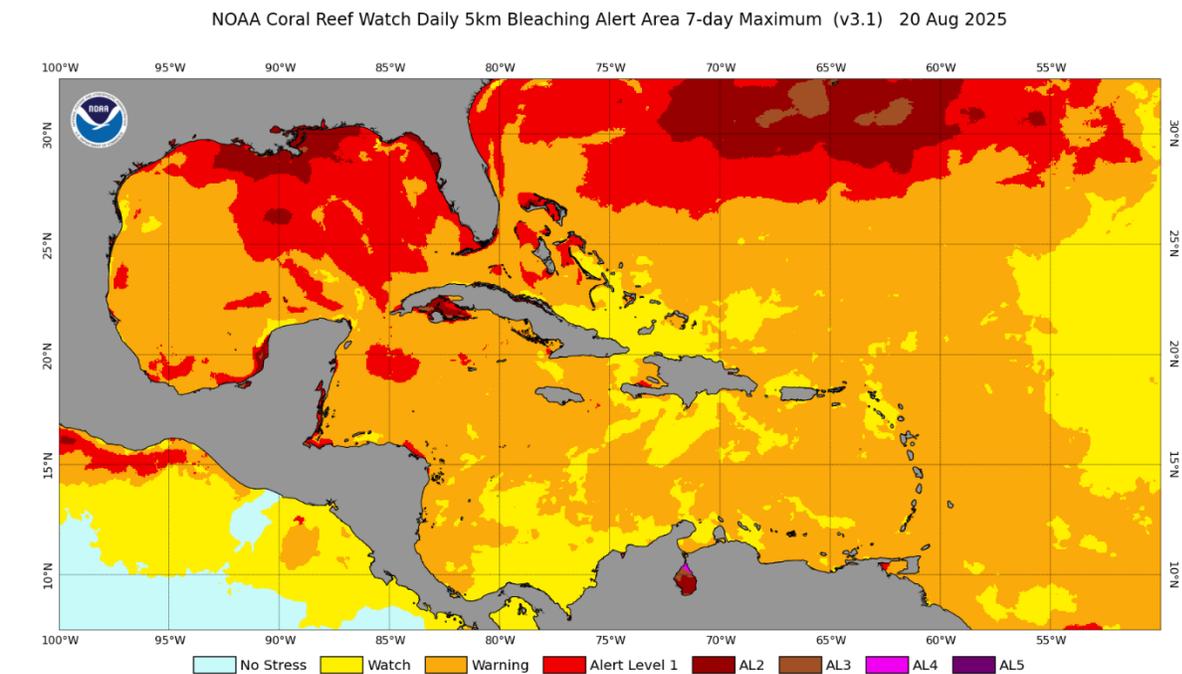
Las tendencias de cambios en las temperaturas superficiales del mar a través del Caribe evidenciaban a mediados de junio de 2025 que apenas la mitad oeste del Caribe, algunas zonas esporádicas del centro y noreste del Caribe, así como solo parte del Golfo de México se encontraban a mediados de junio bajo **vigilancia de blanqueamiento** de corales (Figura 43a). Gran parte de las aguas de estas zonas se encontraban entonces sin estrés térmico alguno. Solo un tramo del Golfo de Campeche, México, y algunos tramos de esta misma costa, de la costa caribeña de América Central y las aguas entre la Isla de la Juventud y Cuba se encontraban bajo **aviso de blanqueamiento** o inclusive bajo **alerta 1 de blanqueamiento**.

Sin embargo, ya a mediados de agosto todo el Caribe insular, incluyendo a Puerto Rico, se encontraba bajo **vigilancia de blanqueamiento**, con algunas zonas de Haití, Gran Caimán, y partes del sur de Cuba y de Puerto Rico, y casi todas las Antillas Menores bajo **aviso de blanqueamiento** (Figura 43b). Inclusive, en occidente de Cuba se ha desarrollado una condición de **alerta 3 de blanqueamiento**. Esto evidencia el calentamiento gradual regional y la expansión modesta, pero gradual de las condiciones de estrés térmico en los corales.

La Figura 44a evidencia la distribución de condiciones donde los puntos calientes o “hot spots” de temperatura en el mar se habían alcanzado a mediados de junio, principalmente en la parte oeste del Caribe y partes del Golfo de México. Cuando se alcanza un “hot spot” entre 0 y +1°C por encima del máximo anual (MMM) es cuando se emite una **vigilancia de blanqueamiento** de corales. Durante mediados de agosto se puede apreciar la extensión espacial de los puntos calientes en el noreste del Caribe (+1 a +2°C) y en el este del Caribe con valores de +0.5 a +1.0°C, lo que ha resultado en la clasificación extensa de la **vigilancia de blanqueamiento** y algunas zonas de **alerta de blanqueamiento** (Figura 44b).



A



B

FIGURA 43. Areas bajo alertas de blanqueamiento de corales en el Caribe, basado en el NOAA Coral Reef Watch Program. Accedido: A) 16 de junio de 2025; B) 31 de agosto de 2025.

Fuente:

[https://coralreefwatch.noaa.gov/data\\_current/5km/v3.1\\_op/daily/png/ct5km\\_baa5-max-7d\\_v3.1\\_caribbean\\_current.png](https://coralreefwatch.noaa.gov/data_current/5km/v3.1_op/daily/png/ct5km_baa5-max-7d_v3.1_caribbean_current.png)

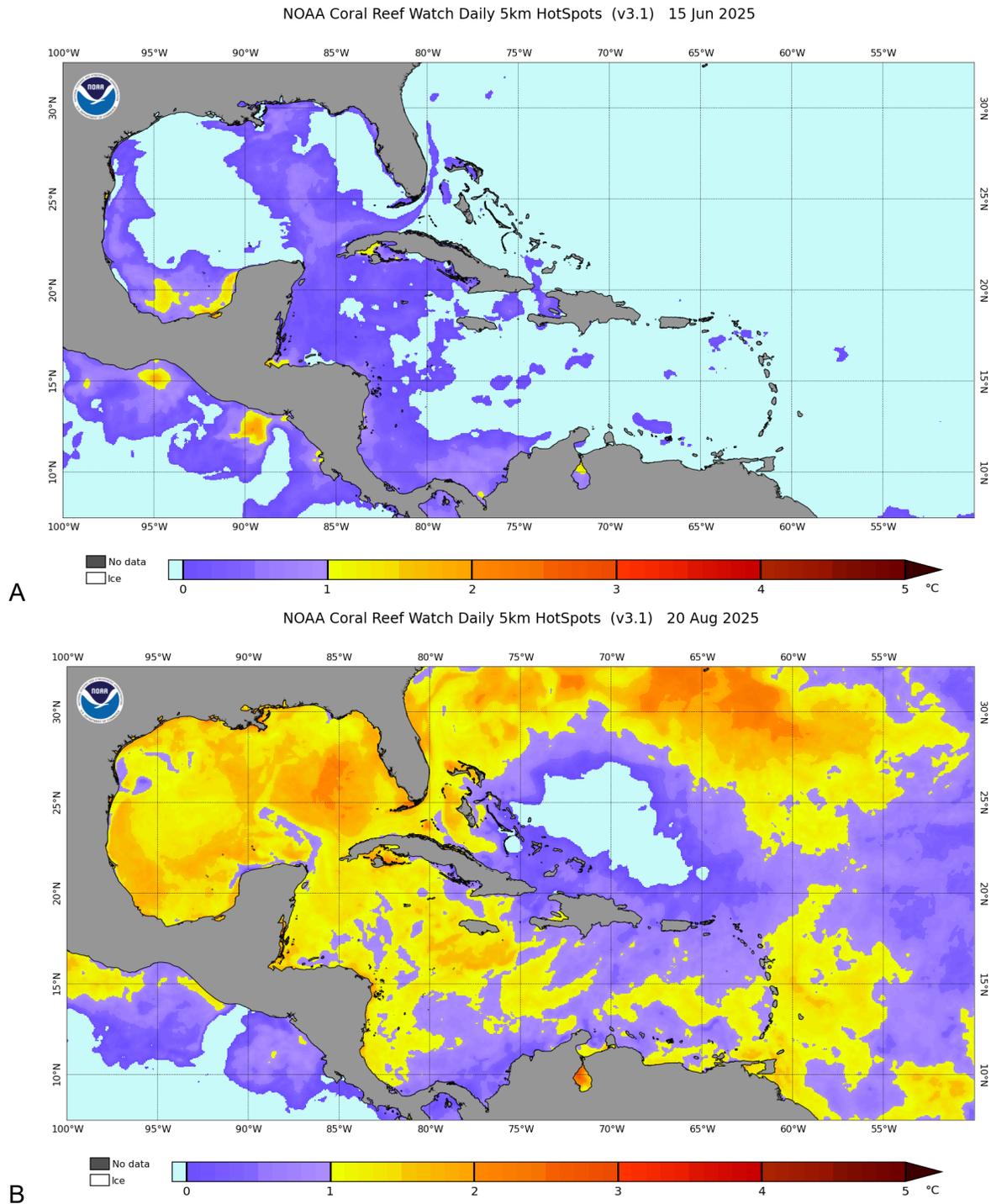


FIGURA 44. Areas bajo alertas de puntos calientes (“hot spots”) conducentes al blanqueamiento de corales en el Caribe basado en el NOAA Coral Reef Watch Program. Accedido: A) 16 de junio de 2025; B) 21 de agosto de 2025. Fuente: [https://coralreefwatch.noaa.gov/data\\_current/5km/v3.1\\_op/daily/png/ct5km\\_hs\\_v3.1\\_caribbean\\_current.png](https://coralreefwatch.noaa.gov/data_current/5km/v3.1_op/daily/png/ct5km_hs_v3.1_caribbean_current.png)

La Figura 45a ilustra la acumulación de las semanas consecutivas con calor o “degree heating weeks” (DHWs, por sus siglas en inglés) por encima del punto caliente o “hotspot” durante mediados de junio de 2025 cuando aún no se observaban DHWs acumulados en la mayoría del Caribe, ni alrededor de Puerto Rico. Sin embargo, desde las aguas de Colombia hasta las costas de México se apreciaba la aculación de 1 a 4 DHWs. Inclusive, en la Bahía de Campeche, algunos tramos de las costas de América Central y al noroeste de la Isla de la Juventud en Cuba ya se apreciaban acumulaciones de 4 a 6 DHWs. Ya a mediados de agosto una gran parte del Caribe, incluyendo Puerto Rico, comenzó a acumular DHWs bajo un **aviso de blanqueamiento**, pero algunas zonas de Cuba ya acumulan sobre 12 DHWs, entrando en una **Alerta 3 de blanqueamiento** (Figura 45b). Igualmente, algunas zonas de las costas de América Central están acumulando de 4 a 6 DHWs, entrando ya en una **Alerta 1 de blanqueamiento**.

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.

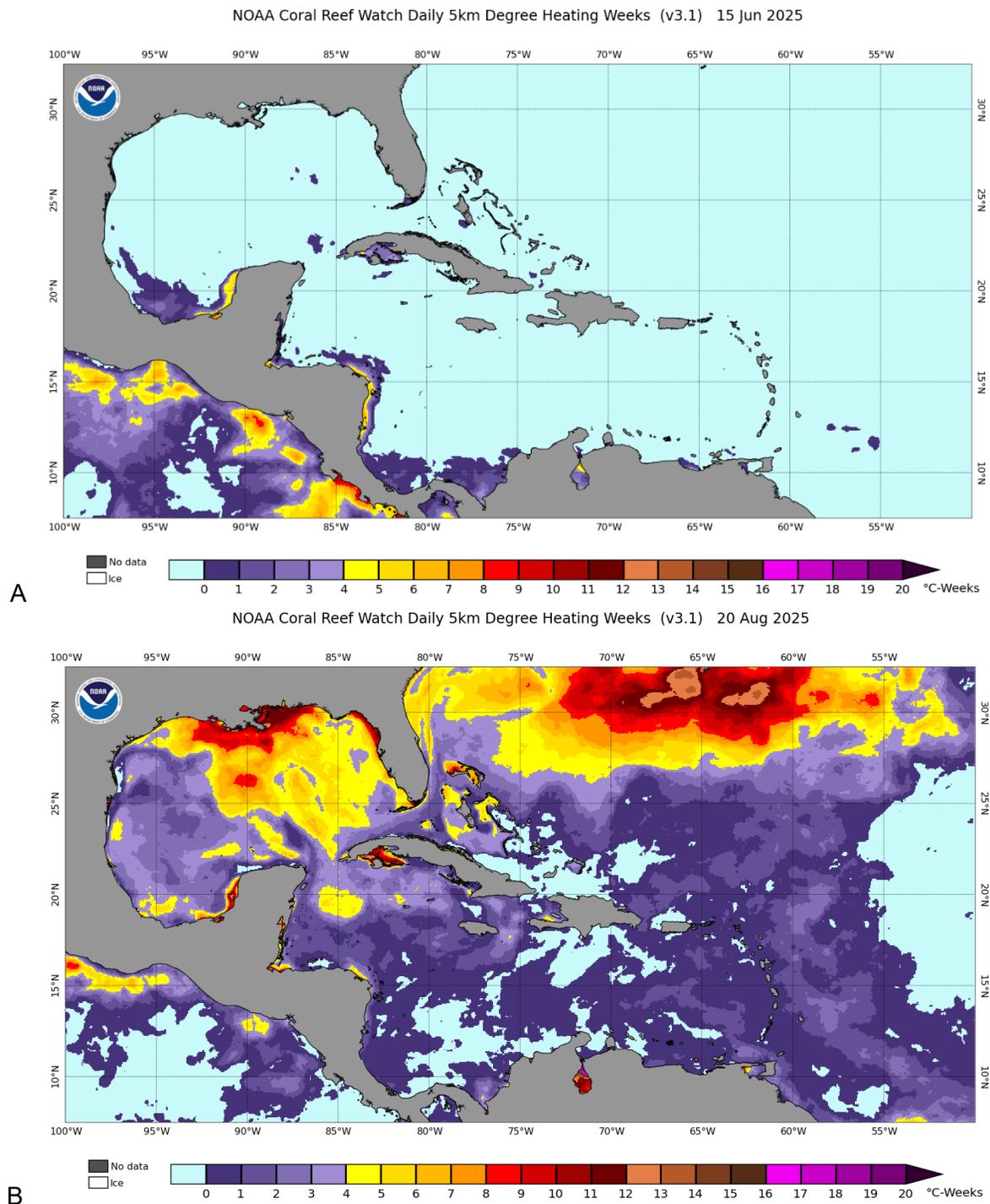


FIGURA 45. Areas bajo alertas de acumulación de semanas consecutivas de calor (“degree heating weeks”, o DHWs, por sus siglas en inglés) conducentes al blanqueamiento de corales, basado en el NOAA Coral Reef Watch Program. Accedido: A) 16 de junio de 2025; B) 21 de agosto de 2025. Fuente: [https://coralreefwatch.noaa.gov/data\\_current/5km/v3.1\\_op/daily/png/ct5km\\_dhw\\_v3.1\\_caribbean\\_current.png](https://coralreefwatch.noaa.gov/data_current/5km/v3.1_op/daily/png/ct5km_dhw_v3.1_caribbean_current.png)

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.

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 mediados de agosto de 2025 que existía un 90% de probabilidad de que todas las Antillas Mayores, parte de las Antillas Menores y todo Puerto Rico se encuentre bajo una **alerta 1 de blanqueamiento** de corales durante el período de agosto a noviembre de 2025 (Figura 46). Para partes del sur del Caribe existe una probabilidad igual de que alcancen un **aviso de blanqueamiento**. Esto también ocurriría para partes de la costa de Venezuela, Colombia y América Central. En Bermuda se anticipa una **alerta 2**.

2025 Aug 19 NOAA 90% Probability Coral Bleaching Heat Stress for Aug–Nov 2025  
Experimental, v5.0, CFSv2–based, 28 to 112 Ensemble Members

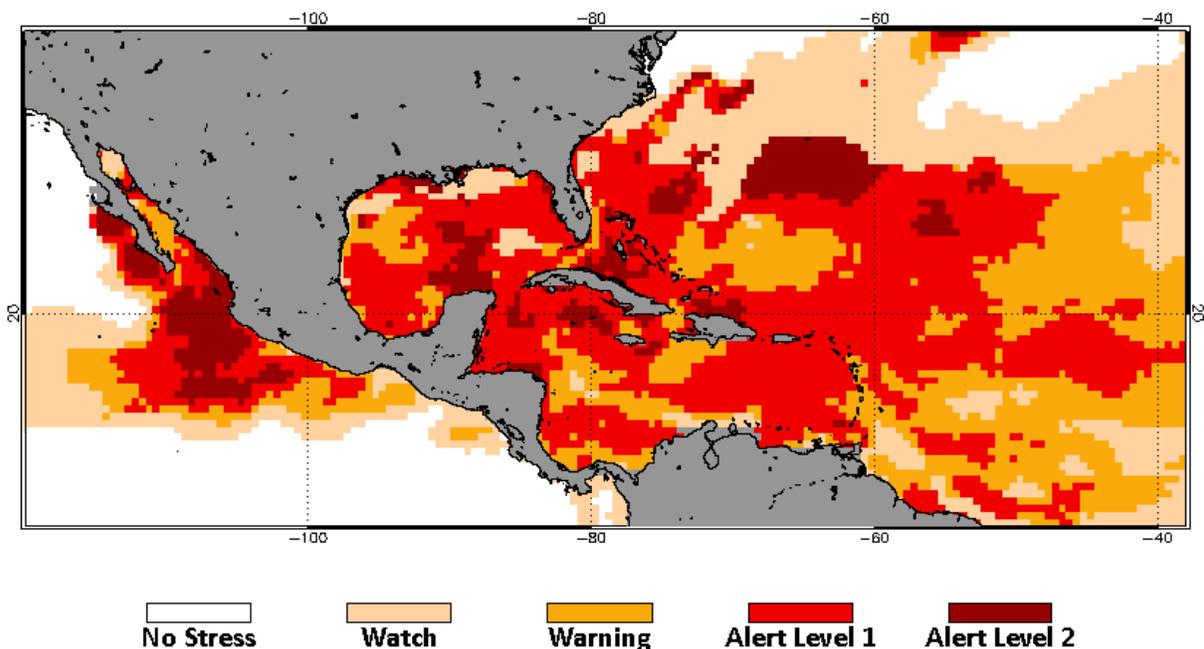


FIGURA 46. Proyección de probabilidad de 90% o mayor de estrés térmico conducente al blanqueamiento de los corales en el Caribe para el período de agosto a noviembre de 2025. Accedido: 21 de agosto de 2025. Fuente: [https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/bleachingoutlook\\_cfs/current\\_image/cur\\_cfsv2\\_outlook-4mon\\_v5\\_90pct\\_caribbean.gif](https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/bleachingoutlook_cfs/current_image/cur_cfsv2_outlook-4mon_v5_90pct_caribbean.gif)

Este escenario también sugeriría un 60% de probabilidad de que gran parte del norte y del este del Caribe, incluyendo a Puerto Rico y Bermuda, se encuentren bajo una **alerta 2 de blanqueamiento**, mientras que partes del sur y del oeste del Caribe podrían alcanzar al menos una **alerta 1 de blanqueamiento**, con algunas zonas menores con **aviso de blanqueamiento** (Figura 47). La mayoría del Golfo de México se anticipa alcance una **alerta 1 o 2 de blanqueamiento**.

2025 Aug 19 NOAA 60% Probability Coral Bleaching Heat Stress for Aug–Nov 2025  
Experimental, v5.0, CFSv2–based, 28 to 112 Ensemble Members

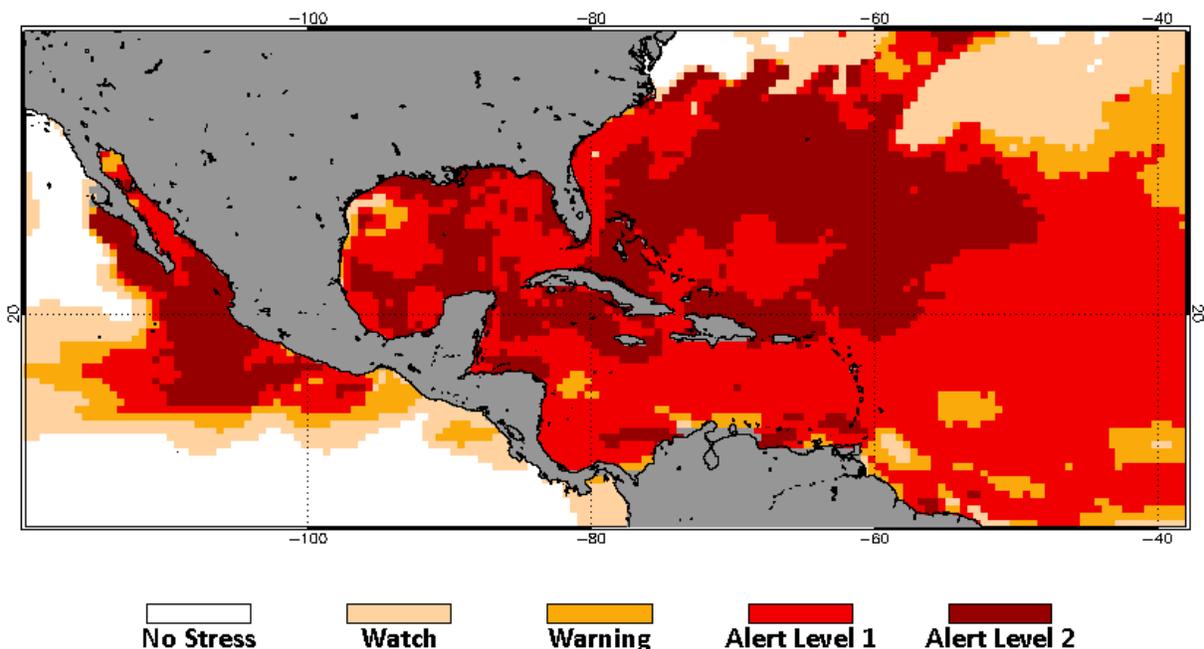


FIGURA 47. Proyección de probabilidad de 60% o mayor de estrés térmico conducente al blanqueamiento de los corales en el Caribe para el período de agosto a noviembre de 2025. Accedido: 21 de agosto de 2025. Fuente: [https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/bleachingoutlook\\_cfs/current\\_image/cur\\_cfsv2\\_outlook-4mon\\_v5\\_60pct\\_caribbean.gif](https://coralreefwatch.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 agosto y noviembre de 2025 alcanza 20 a 40% para el este del Caribe, 60 a 80% para Puerto Rico, 60 a 100% para el resto de las Antillas Mayores, con zonas de hasta 100% de probabilidad al sur, suroeste de Cuba y en Honduras, y de 90 a 99% en Bermuda (Figura 48). La probabilidad se mantiene menor al 40% en el resto del centro, sur y oeste del Caribe, con condiciones variables en el Golfo de México, pero alcanza de 80 a 100% en la zona de las Islas Turcos y Caicos y la parte este de las Bahamas.

La probabilidad de alcanzar al menos un nivel de **alerta 1 o 2 de blanqueamiento** durante el período entre agosto y noviembre de 2025 alcanza 90 a 99% para la zona de Puerto Rico (Figura 49). Este valor alcanza entre 80 a 100% a través de gran parte del Caribe y del Golfo de México, alcanzando 90 a 100% alrededor de Cuba, 70 a 100% en América Central y 90 a 99% en Bermuda.

2025 Aug 19 NOAA Coral Bleaching Heat Stress Probabilities (Alert 2) for Aug–Nov  
 Experimental, v5.0, CFSv2–based, 28 to 112 Ensemble Members

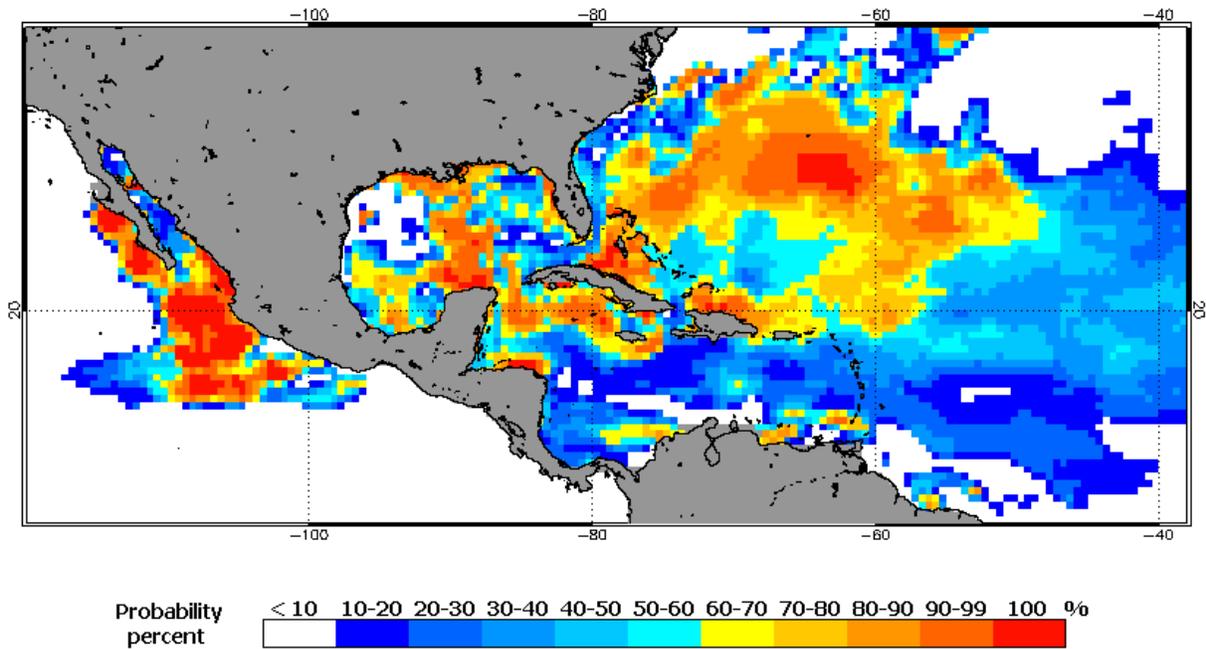


FIGURA 48. Proyección de probabilidad de emisión de una alerta de nivel 2 de blanqueamiento inminente de los corales en el Caribe para el período de agosto a noviembre de 2025. Accedido: 21 de agosto de 2025. Fuente: [https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/bleachingoutlook\\_cfs/current\\_image/cur\\_cfsv2\\_prob-4mon\\_v5\\_alertlevel2\\_caribbean.gif](https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/bleachingoutlook_cfs/current_image/cur_cfsv2_prob-4mon_v5_alertlevel2_caribbean.gif)

2025 Aug 19 NOAA Coral Bleaching Heat Stress Probabilities (Alert 1 & 2) for Aug–Nov  
Experimental, v5.0, CFSv2–based, 28 to 112 Ensemble Members

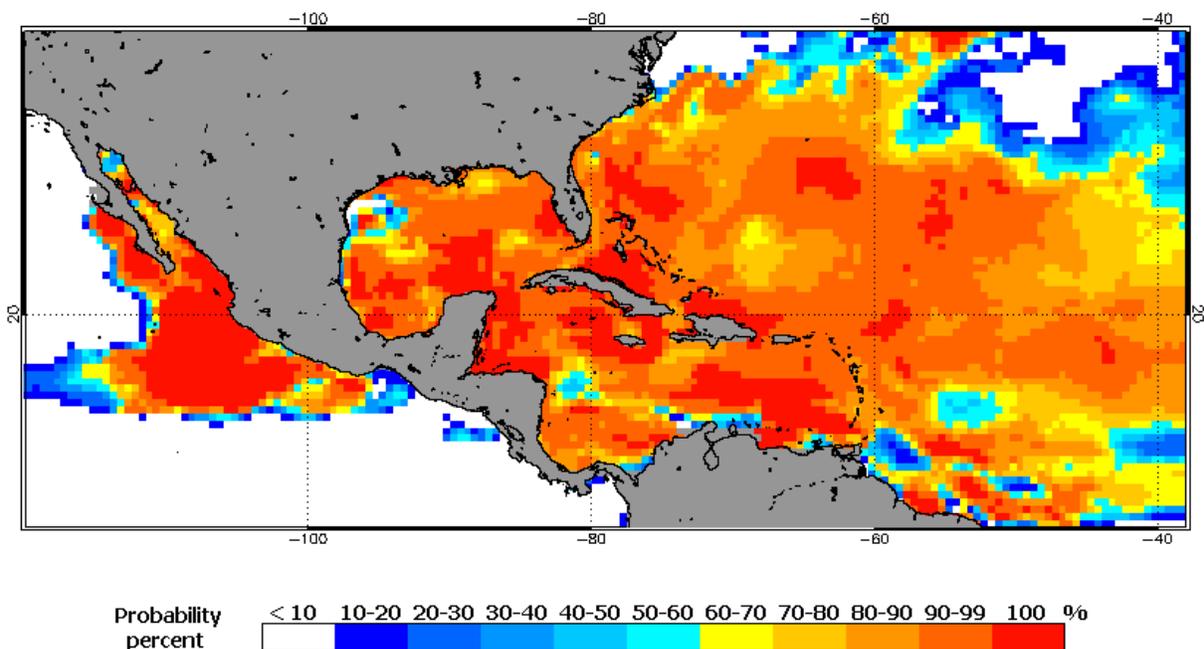


FIGURA 49. Proyección de probabilidad de emisión de una alerta de nivel 1 o 2 de blanqueamiento inminente de los corales en el Caribe para el período de agosto a noviembre de 2025. Accedido: 21 de agosto de 2025. Fuente: [https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/bleachingoutlook\\_cfs/current\\_image/cur\\_cfsv2\\_prob-4mon\\_v5\\_alertlevel1\\_caribbean.gif](https://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 agosto y noviembre es de 100% para la zona de Puerto Rico, parte de las Antillas Mayores y Menores y partes de América Central (Figura 50). El resto del Caribe y en el Golfo de México esta probabilidad oscila entre 90 y 100%.

En la Figura 51 se proyecta que para el mismo período la probabilidad al menos de una emisión de una **vigilancia de blanqueamiento** o mayor durante alcanza un 100% para la totalidad del Caribe y el Golfo de México.

2025 Aug 19 NOAA Coral Bleaching Heat Stress Probabilities (Warning & Higher) for Aug–Nov  
 Experimental, v5.0, CFSv2-based, 28 to 112 Ensemble Members

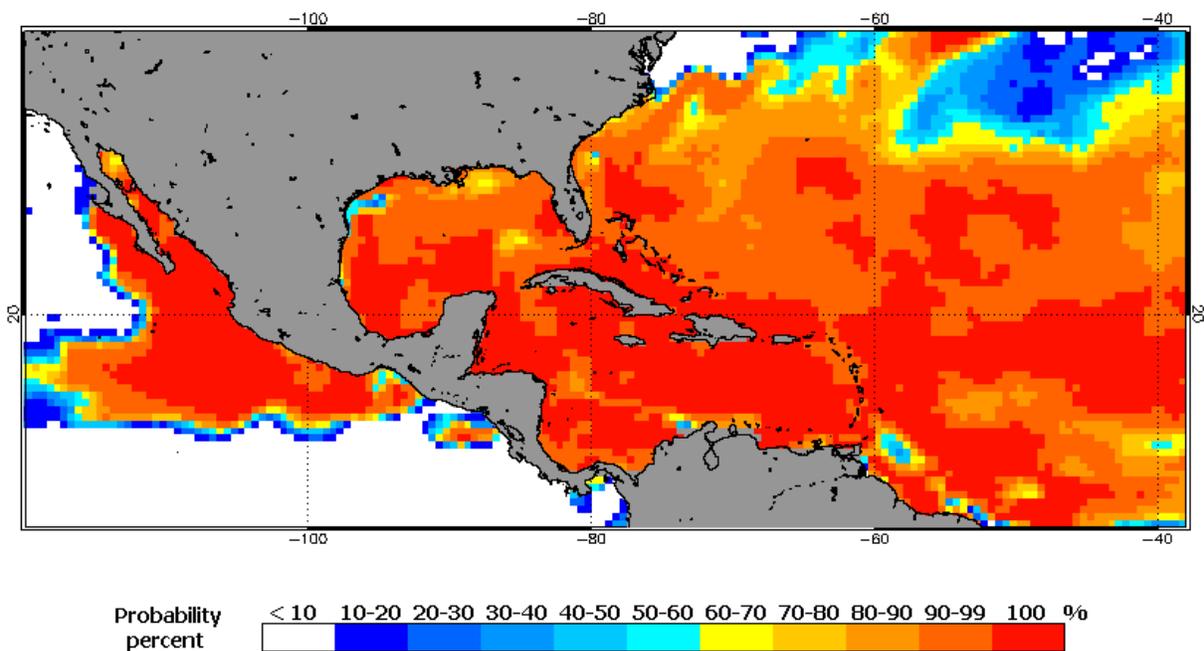


FIGURA 50. Proyección de probabilidad de emisión de al menos un aviso o mayor de blanqueamiento inminente de los corales en el Caribe para el período de agosto a noviembre de 2025. Accedido: 21 de agosto de 2025. Fuente: [https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/bleachingoutlook\\_cfs/current\\_image/cur\\_cfsv2\\_prob-4mon\\_v5\\_warning\\_caribbean.gif](https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/bleachingoutlook_cfs/current_image/cur_cfsv2_prob-4mon_v5_warning_caribbean.gif)

2025 Aug 19 NOAA Coral Bleaching Heat Stress Probabilities (Watch & Higher) for Aug–Nov  
 Experimental, v5.0, CFSv2–based, 28 to 112 Ensemble Members

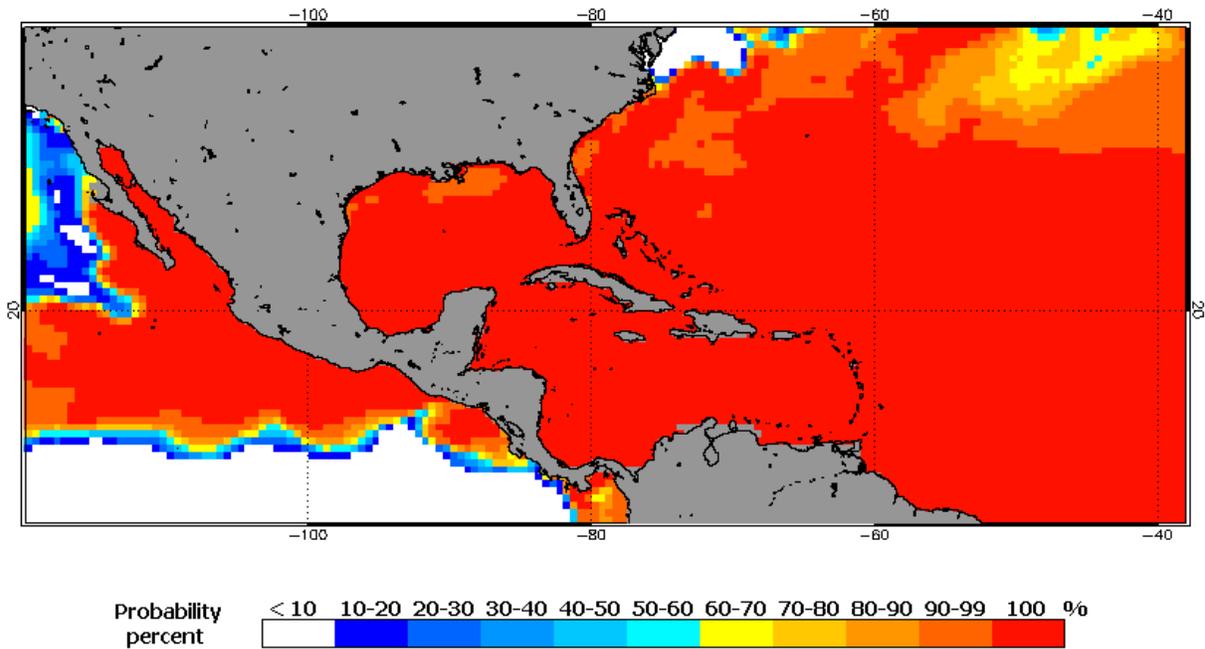


FIGURA 51. Proyección de probabilidad de emisión de al menos una vigilancia o mayor de blanqueamiento inminente de los corales en el Caribe para el periodo de agosto a noviembre de 2025. Accedido: 21 de agosto de 2025. Fuente: [https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/bleachingoutlook\\_cfs/current\\_image/cur\\_cfsv2\\_prob-4mon\\_v5\\_watch\\_caribbean.gif](https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/bleachingoutlook_cfs/current_image/cur_cfsv2_prob-4mon_v5_watch_caribbean.gif)

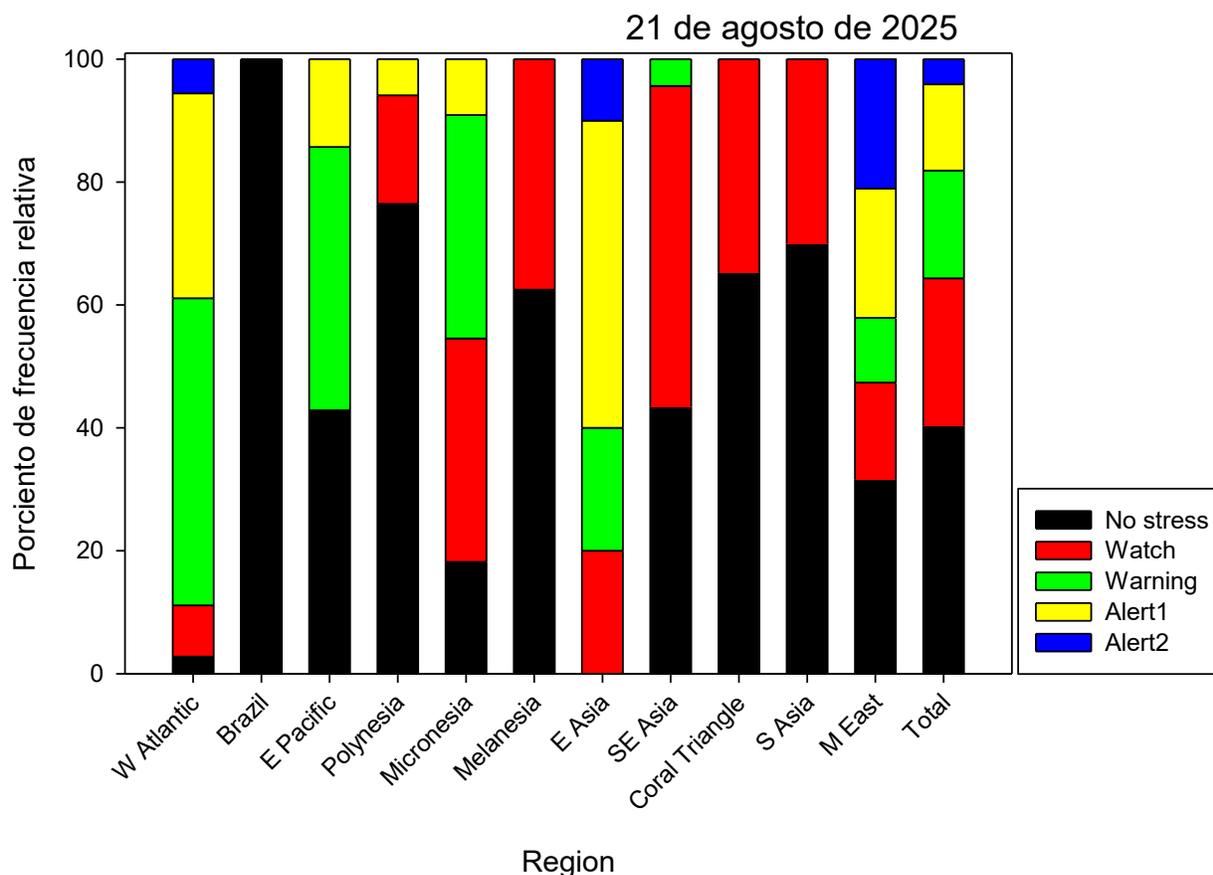


FIGURA 52. Clasificación de riesgos de blanqueamiento de corales a través de 11 regiones del planeta (N=171 estaciones de monitoreo de temperatura del agua. Fuente: <https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs/data.php> (accedido: 21 de agosto de 2025).

Region	No stress	Watch	Warning	Alert 1	Alert 2
W Atlantic	2.777778	8.333333	50	33.333333	5.555556
Brazil	100	0	0	0	0
E Pacific	42.85714	0	42.85714	14.28571	0
Polynesia	76.47059	17.64706	0	5.882353	0
Micronesia	18.18182	36.36364	36.36364	9.090909	0
Melanesia	62.5	37.5	0	0	0
E Asia	0	20	20	50	10
SE Asia	43.47826	52.17391	4.347826	0	0
Coral Triangle	65.21739	34.78261	0	0	0
S Asia	70	30	0	0	0
M East	31.57895	15.78947	10.52632	21.05263	21.05263
<b>Total</b>	<b>40.35088</b>	<b>23.97661</b>	<b>17.54386</b>	<b>14.03509</b>	<b>4.093567</b>

La Figura 52 resume los riesgos de blanqueamiento de corales a mediados de agosto de 2025 para un total de 171 localidades a través de 11 regiones biogeográficas a escala global. Este análisis refleja que para entonces 40.4% de las estaciones de monitoreo de temperatura del mar del hemisferio norte del planeta que no mostraban ningún tipo de estrés térmico, pero 59.6% tenían algún grado de estrés. De estas últimas, 24.0% se encontraban bajo una **vigilancia de blanqueamiento**, 17.5% estaban bajo **aviso de blanqueamiento**, 14.0% bajo **alerta 1 de blanqueamiento** y 4.1% bajo **alerta 2 de blanqueamiento**. Para la región del oeste del Atlántico, durante el mes de junio 61.1% no mostraban estrés térmico, 27.8% estaban bajo **vigilancia de blanqueamiento** y 11.1% estaban bajo **aviso de blanqueamiento**. Ninguna estación se encontraba bajo algún nivel de alerta. Sin embargo, para agosto apenas 2.8% no mostraban estrés térmico, pero 97.2% si estaban bajo algún grado de estrés, con 8.3% bajo **vigilancia de blanqueamiento**, 50.0% estaban bajo **aviso de blanqueamiento**, 33.3% bajo **alerta 1 de blanqueamiento** y 5.6% bajo **alerta 2**. Por el momento, estos resultados ya sugieren un riesgo moderado de que pueda ocurrir un evento menor a moderado de blanqueamiento de corales a través gran parte del Caribe en o antes de octubre de 2025. Ese riesgo es igualmente moderado para la zona de Puerto Rico, las Antillas Menores y el resto del noreste del Caribe.

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

La Figura 53 ilustra la extensión espacial y batimétrica (profundidad) a través del Caribe y del Atlántico tropical del contenido de calor acumulado en el océano a mediados de agosto, medido en kilojulios por  $\text{cm}^{-2}$ . La mitad este del Océano Atlántico tropical apenas evidenció contenidos de calor de 25 a 60  $\text{kJ cm}^{-2}$ . Sin embargo, la zona entre el centro del Atlántico tropical y las Antillas Menores presentaron fluctuaciones de 40 a 100  $\text{kJ cm}^{-2}$ . Alrededor de Puerto Rico se observaron contenidos de calor entre apenas 50 y 90  $\text{kJ cm}^{-2}$  al norte y de 100 a 120  $\text{kJ cm}^{-2}$  al sur. Al suroeste del Caribe los valores apenas alcanzaban 25 a 35  $\text{kJ cm}^{-2}$ , mientras que en el centro oeste del Caribe fluctuaba entre 125 a más de 150  $\text{kJ cm}^{-2}$ . La mayoría del Golfo de México fluctuaba entre 40 y 150  $\text{kJ cm}^{-2}$ . La zona de convergencia intertropical frente a las costas de África muestra contenidos de calor entre 15 y  $\text{kJ cm}^{-2}$ .

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.

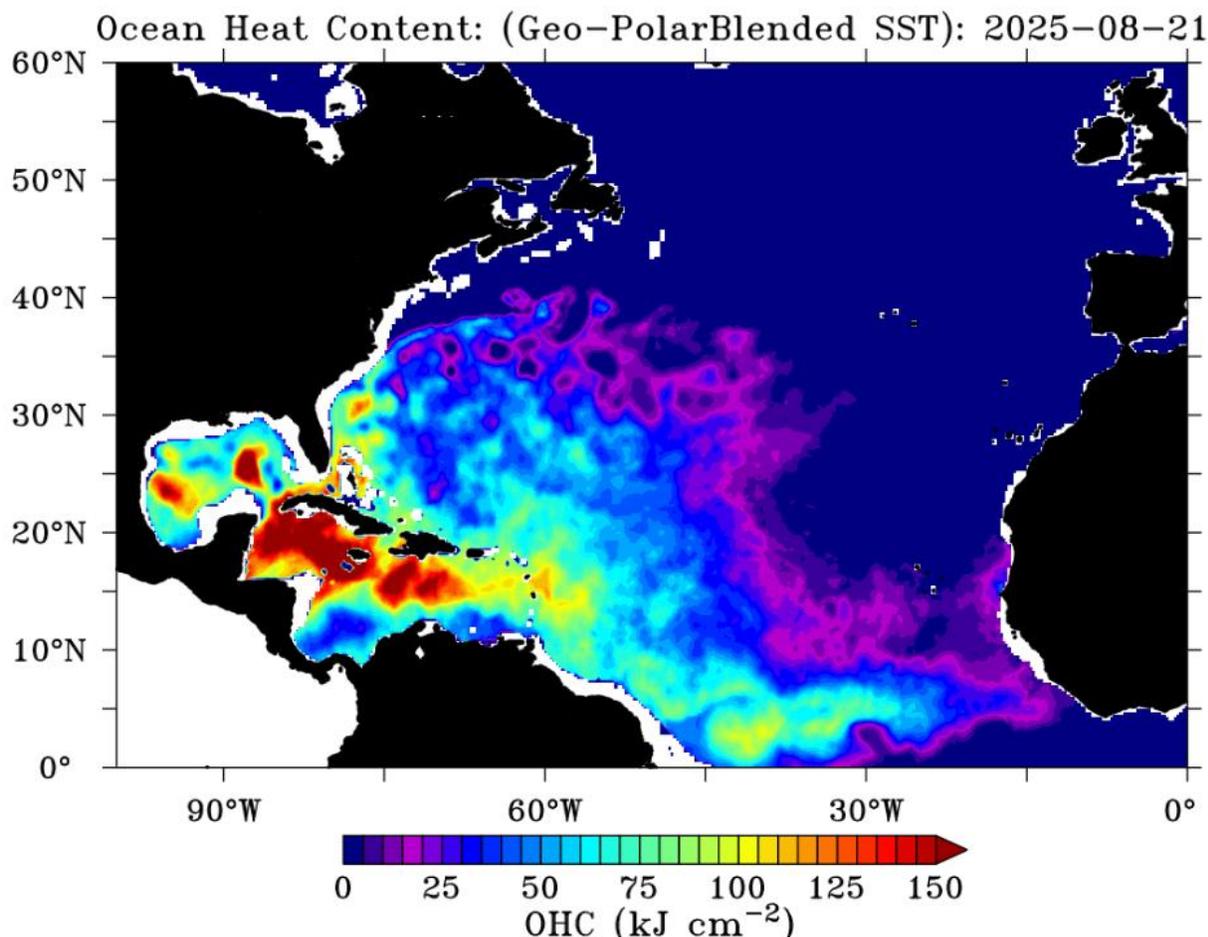


FIGURA 53. Extensión espacial del contenido de calor del océano a mediados de julio de 2025.  
Fuente: <https://www.ospo.noaa.gov/Products/ocean/ohc/> (accedido: 21 de agosto de 2025).

*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.

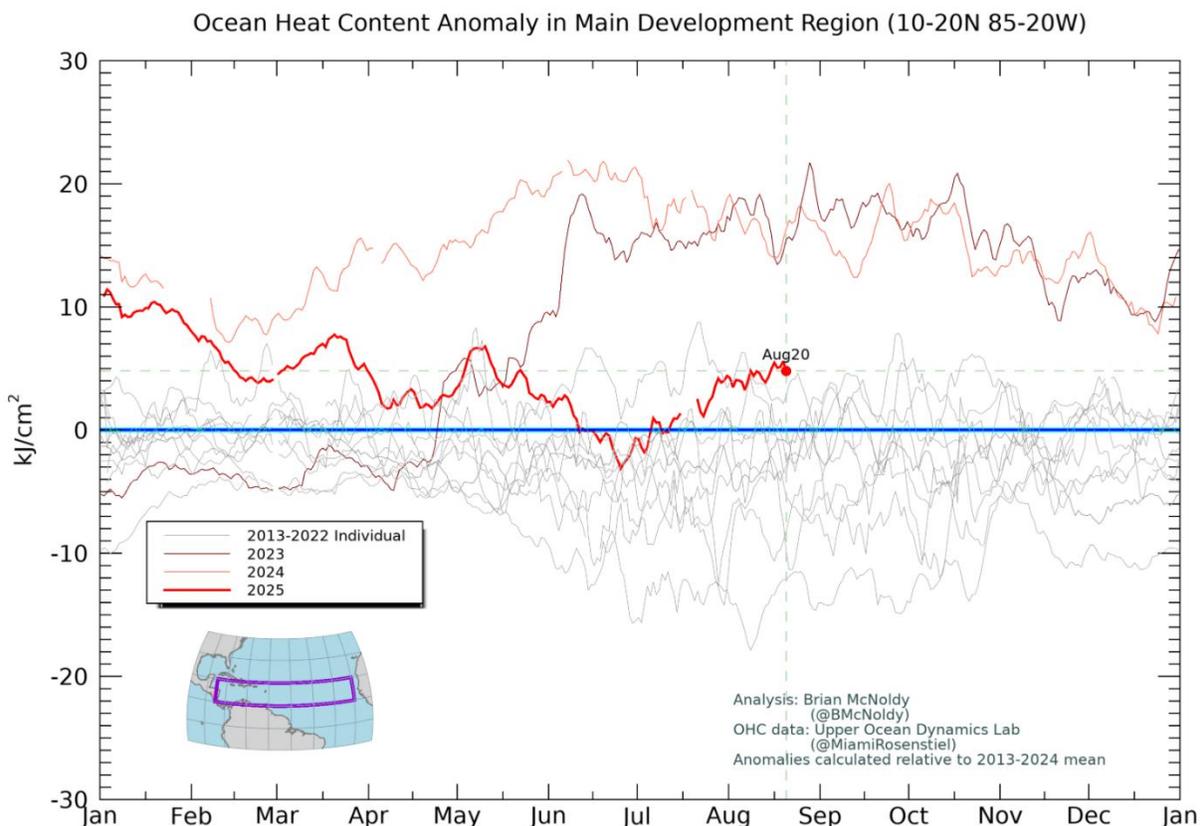


FIGURA 54. Anomalía del contenido de calor oceánico para el Atlántico tropical y el Caribe. (accedido: 21 de agosto de 2025). Fuente: [https://bmcnoldy.earth.miami.edu/tropics/ohc/ohc\\_mdr\\_anom.png](https://bmcnoldy.earth.miami.edu/tropics/ohc/ohc_mdr_anom.png)

La zona del Atlántico tropical y el Caribe se encontraban a mediados de agosto de 2025 experimentando un aumento rápido en la anomalía de contenido de calor oceánico de +5  $\text{kJ}/\text{cm}^2$  (Figura 54), aunque por debajo de lo que era este valor durante el 2023 y 2024 para la misma época. Un examen de las diferentes provincias biogeográficas del Atlántico tropical en general sugiere igualmente condiciones de calentamiento acelerado en el Caribe, con una anomalía de +11  $\text{kJ}/\text{cm}^2$  (Figura 55), pero de poco menos de +2  $\text{kJ}/\text{cm}^2$  en el Atlántico tropical este (Figura 56). Sin embargo, en la zona del Golfo de México la anomalía observada se redujo notablemente, con un promedio de +12  $\text{kJ}/\text{cm}^2$  durante junio hasta un promedio de -2  $\text{kJ}/\text{cm}^2$  durante julio, aumentando nuevamente a +7  $\text{kJ}/\text{cm}^2$  durante agosto (Figura 57). Por el momento, el contenido de calor oceánico a través de la zona del Caribe muestra condiciones de aumento rápido que pudieran contribuir a propiciar un aumento mayor en el riesgo de blanqueamiento de masivo de corales durante comienzos a mediados del otoño de 2025. La progresión de esta condición ha sido modesta y lenta, pero consistente durante el último mes. Esta variable debe continuar monitoreándose en los próximos meses.

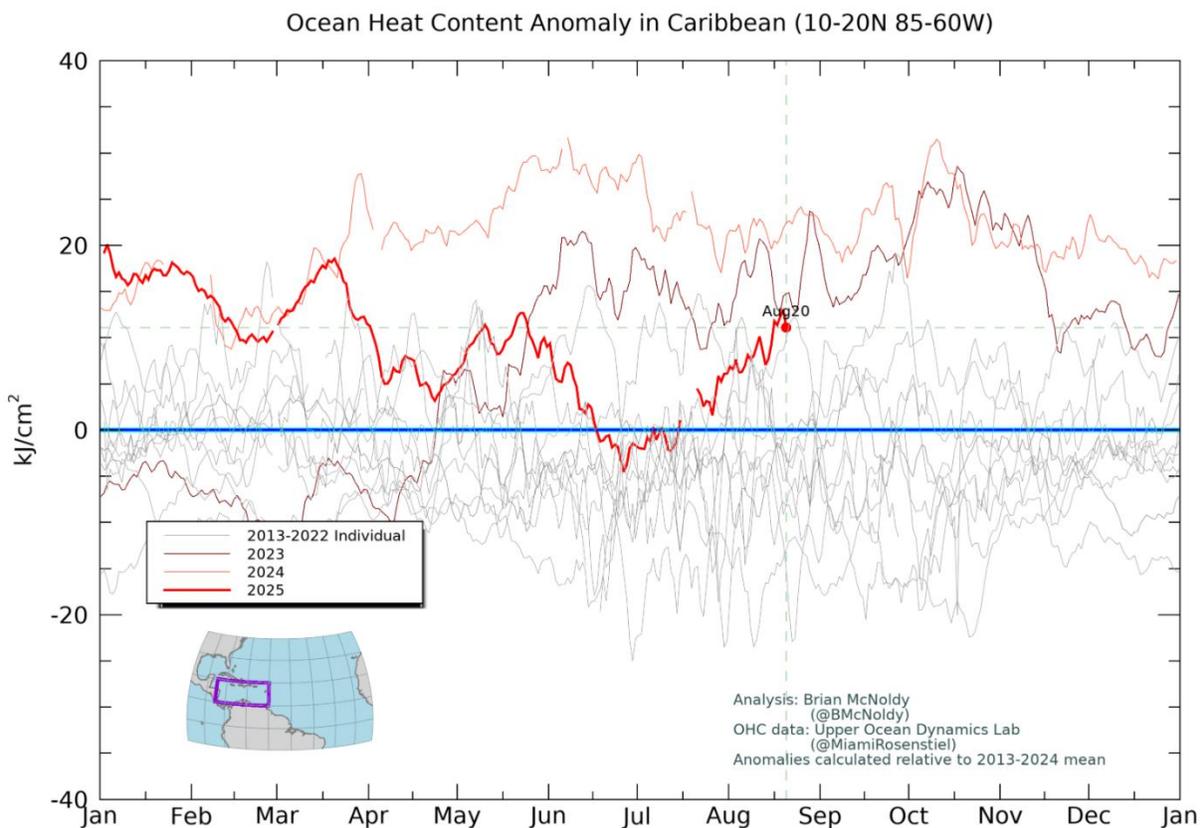


FIGURA 55. Anomalía del contenido de calor oceánico para el Caribe. (accedido: 21 de agosto de 2025). Fuente: [https://bmcnoldy.earth.miami.edu/tropics/ohc/ohc\\_carib\\_anom.png](https://bmcnoldy.earth.miami.edu/tropics/ohc/ohc_carib_anom.png)

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.

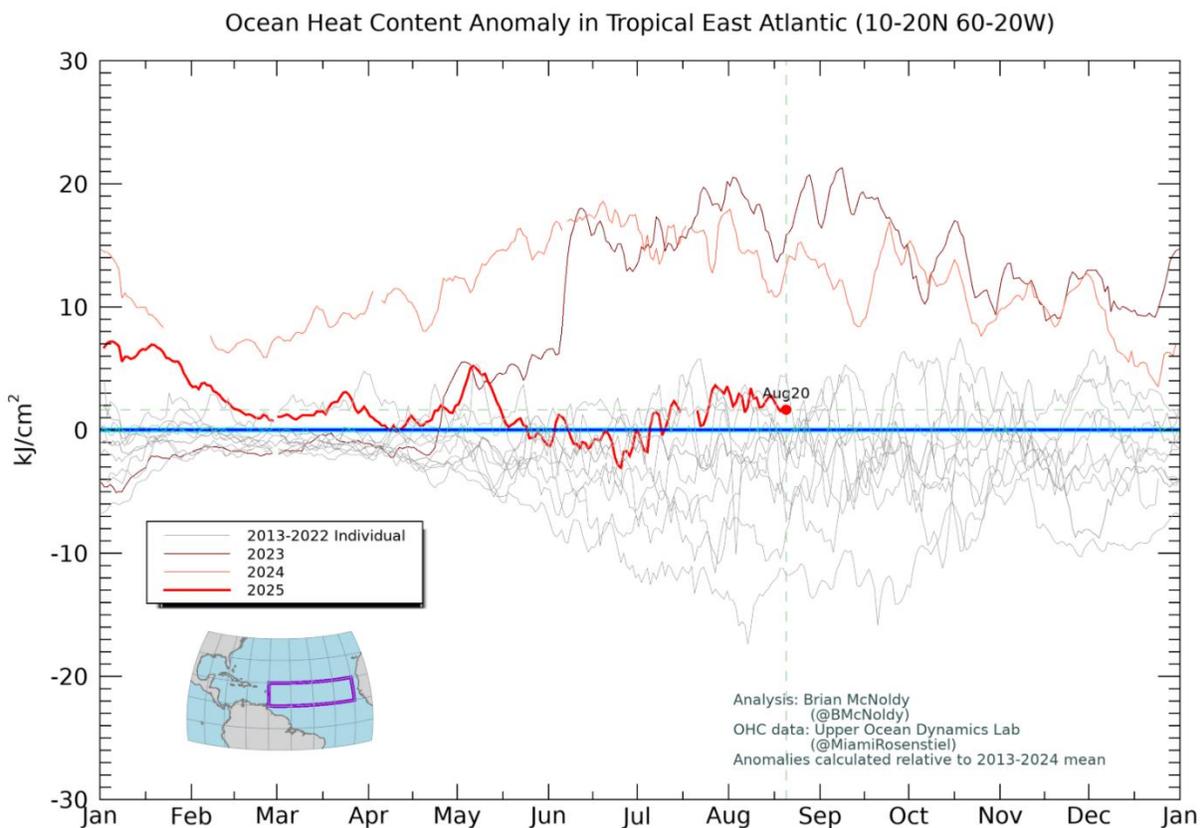


FIGURA 56. Anomalía del contenido de calor oceánico para el este del Atlántico tropical. (accedido: 22 de julio de 2025). Fuente: [https://bmcnoldy.earth.miami.edu/tropics/ohc/ohc\\_east\\_anom.png](https://bmcnoldy.earth.miami.edu/tropics/ohc/ohc_east_anom.png)

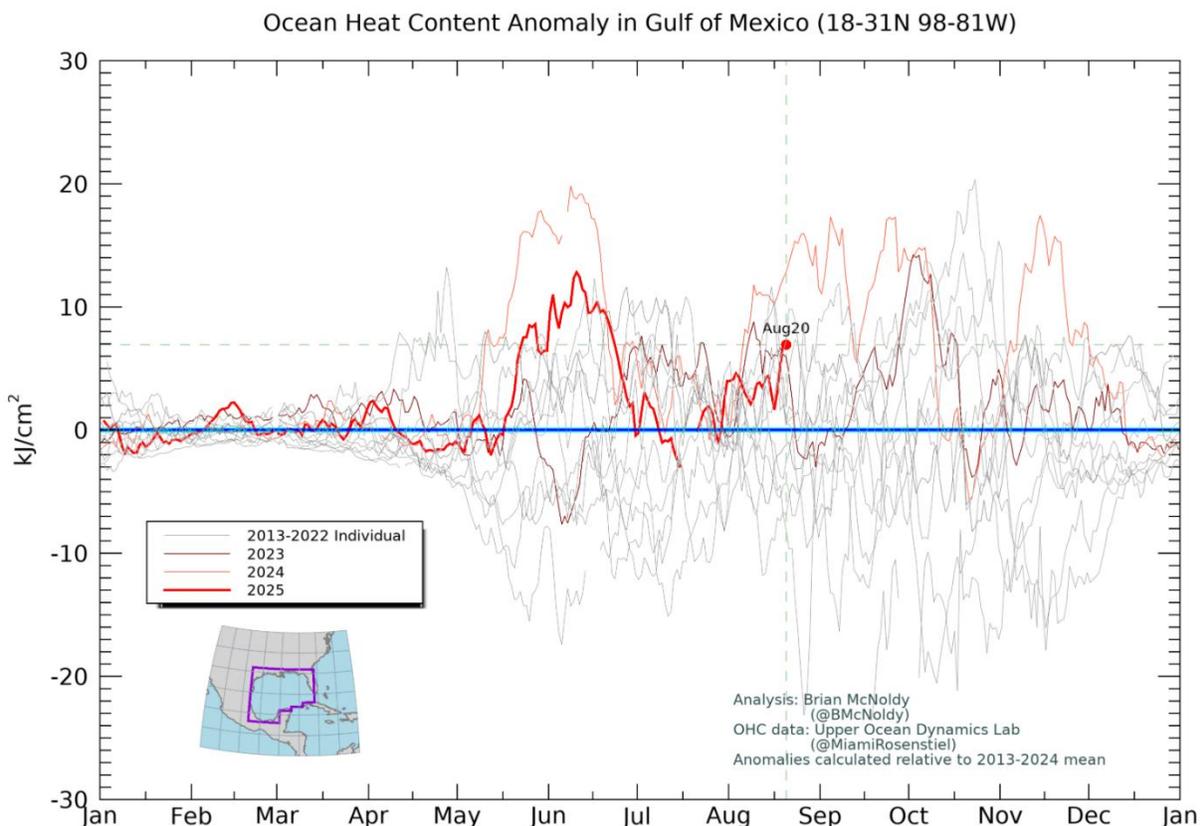


FIGURA 57. Anomlaía del contenido de calor oceánico para el Golfo de México. (accedido: 21 de agosto de 2025). Fuente: [https://bmcnoldy.earth.miami.edu/tropics/ohc/ohc\\_gulf\\_anom.png](https://bmcnoldy.earth.miami.edu/tropics/ohc/ohc_gulf_anom.png)

La Figura 58 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 través del Caribe, la capa mixta alcanzó durante mediados de agosto de 2025 entre 40 y 90 m de profundidad. Alrededor de Puerto Rico la capa mixta promedió 40 m. A través del Atlántico tropical alcanzaba para el mismo período entre 30 a 60 m en su mitad este, y de 40 a 60 m en su mitad oeste.

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.

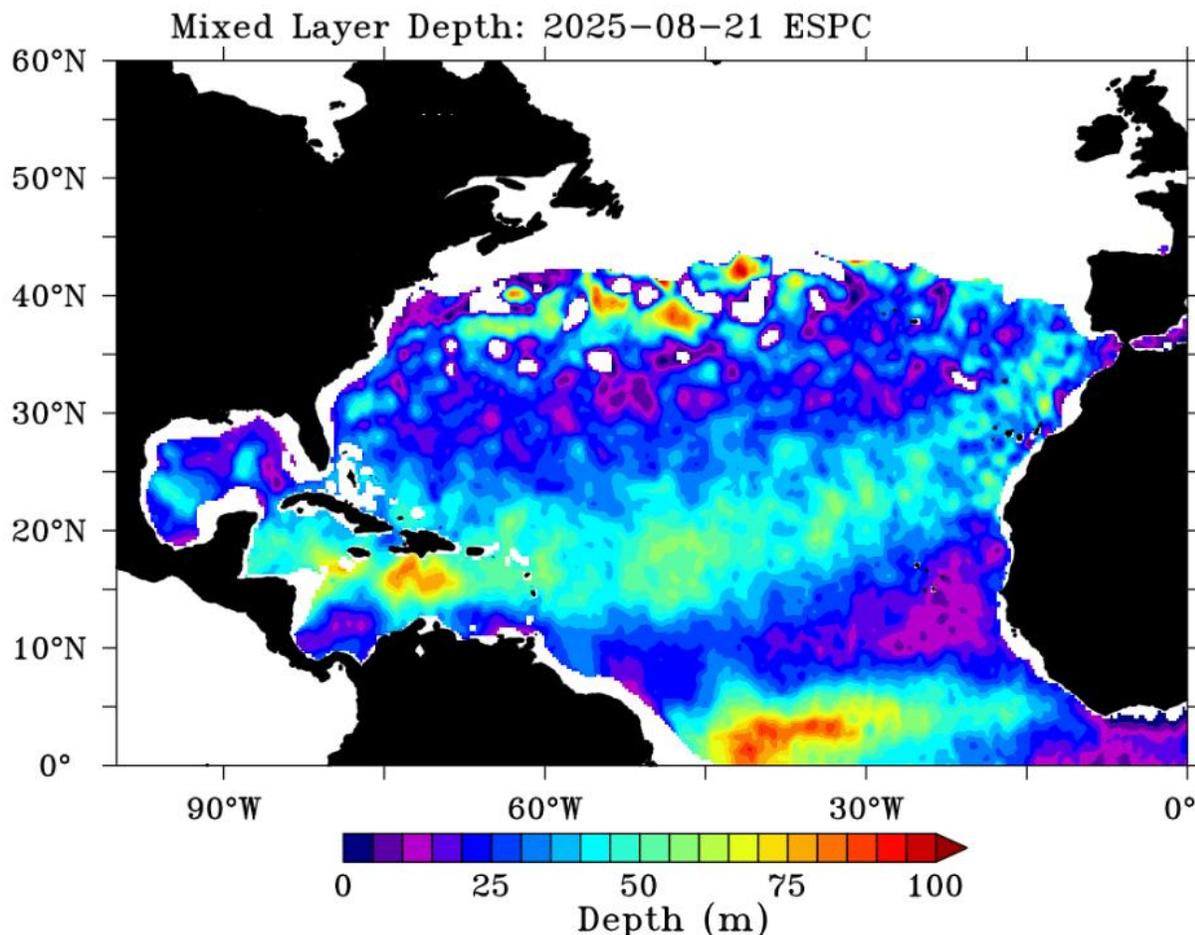


FIGURA 58. Variación en la extensión espacial de la profundidad de la capa mixta del océano. Fuente: <https://www.ospo.noaa.gov/Products/ocean/ohc/> (accedido: 21 de agosto de 2025).

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 59 muestra la extensión espacial de la profundidad de la isoterma oceánica de 26°C a mediados del mes de agosto de 2025. El centro y el este del Caribe, incluyendo el sur de Puerto Rico, promediaba de 70 a 100 m, mientras que al norte de Puerto Rico promediaba de 50 a 80 m. Al oeste del Caribe promediaba de 80 a 160 m. La mayoría del Golfo de México apenas promediaba de 25 a 50 m, con algunas zonas con 80 a 100 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.

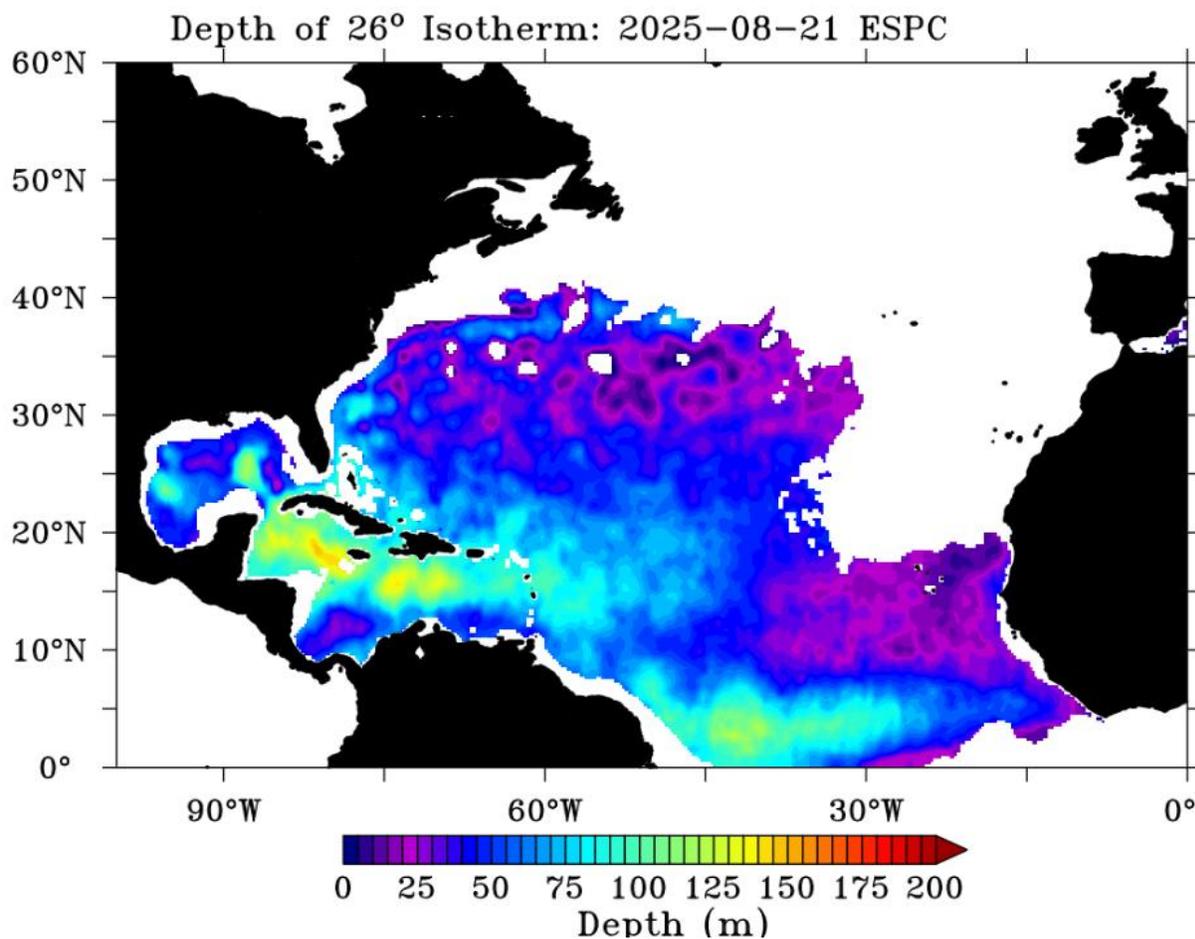


FIGURA 59. Variación en la extensión espacial de la profundidad de la isoterma oceánica de 26°C. Fuente: <https://www.ospo.noaa.gov/Products/ocean/ohc/> (accedido: 21 de agosto de 2025).

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.

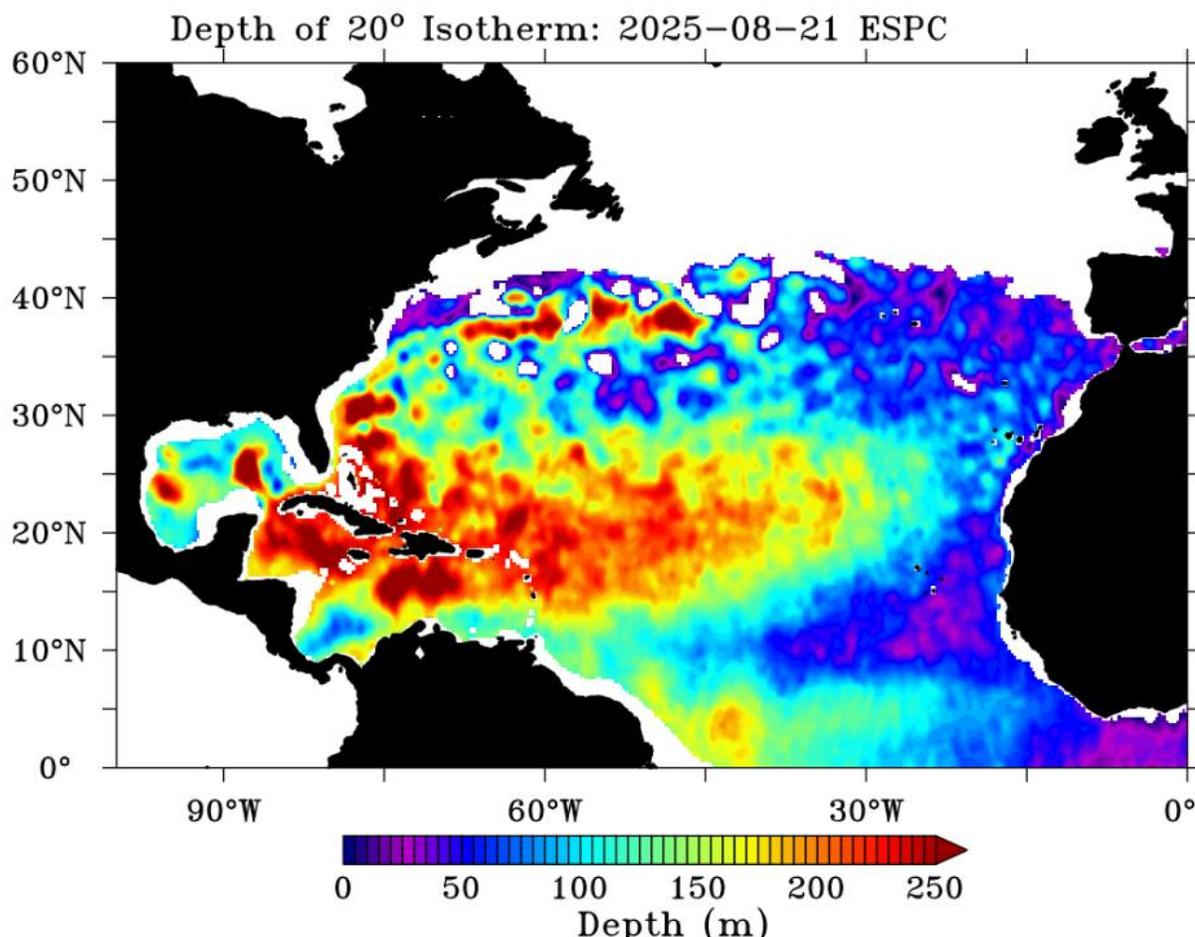


FIGURA 60. Variación en la extensión espacial de la profundidad de la isoterma oceánica de 20°C. Fuente: <https://www.ospo.noaa.gov/Products/ocean/ohc/> (accedido: 21 de agosto de 2025).

La Figura 60 muestra la extensión espacial de la profundidad de la isoterma oceánica de 20°C. A través del norte del Caribe promediaba a mediados de agosto de 2025 de 200 a >250 m. Alrededor de Puerto Rico fluctuaba entre unos 200 a 230 m en el norte y de 180 a 200 m en el sur. A través de la parte oeste del Atlántico tropical dicha isoterma alcanzaba de 180 a 230 m, pero en la parte este era menor de 30 a 100 m. En el Golfo de México se observaron oscilaciones muy grandes, con tramos <50 m y tramos >250 m.

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 para esta época del año, aun en plena primavera, 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 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.

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

La Figura 61 ilustra la proyección desarrollada por el modelo climático europeo (ECMWF EPS), el cual sugiere condiciones de un índice ligeramente negativo 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 21 de julio hasta el 6 de octubre de 2025. Se anticipa que, de concretarse la predicción de dicho modelo, podría disminuir de forma notable el patrón sostenido de vientos alisios fuertes del este que perduró durante gran parte de junio y julio, así como el oleaje, lo que podría propiciar condiciones conducentes a un calentamiento gradual más rápido del mar alrededor del centro y el este del Caribe durante dicho período. Ya ese patrón de menor viento se vio desde mediados de julio hasta agosto, resultando en un aumento de temperatura y de contenido de calor oceánico en el Caribe. Esto resultó en el desarrollo de condiciones conducentes a un **aviso de blanqueamiento** en Puerto Rico y otras zonas del Caribe. De predominar ese escenario durante el próximo mes, existe una probabilidad notable de que antes de finales de septiembre se desarrollen condiciones de **alerta 1 de blanqueamiento** para múltiples zonas del Caribe, incluyendo a Puerto Rico.

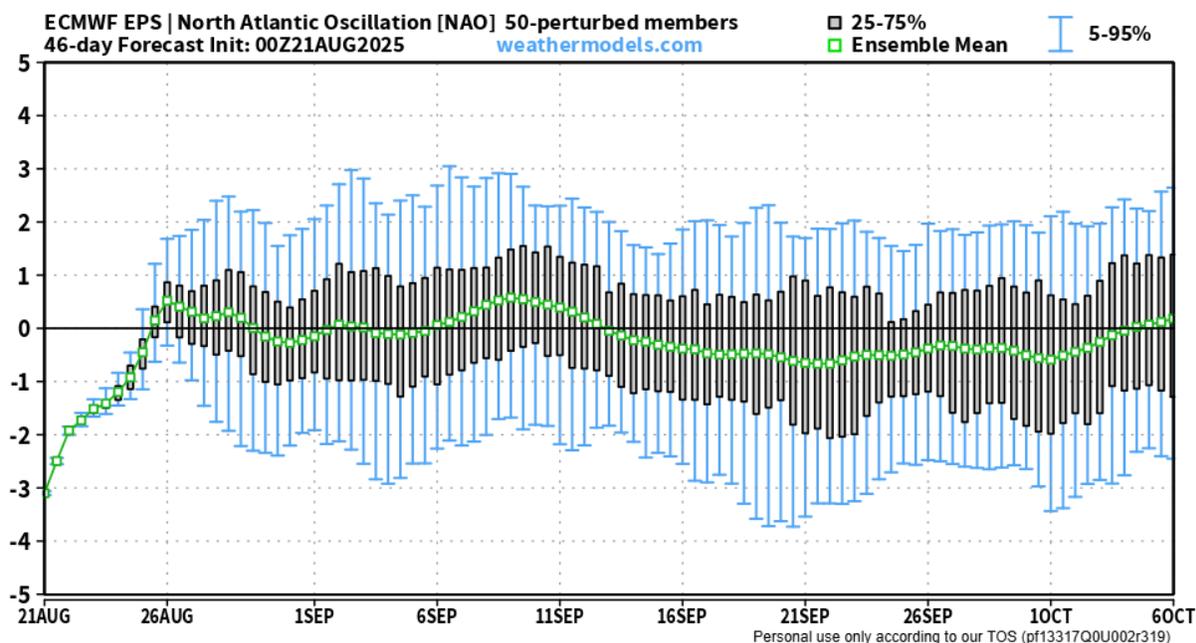


FIGURA 61. Oscilación del Atlántico Norte (NAO) para el período del 21 de agosto al 6 de octubre de 2025 de acuerdo al European Climate Model Weather Forecasting (ECMWF EPS).

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.

## XII. Síntesis y conclusiones

En Puerto Rico y el este del Caribe enfrentamos durante el mes de agosto de 2025 un cambio rápido en las condiciones de temperaturas del mar aumentando notablemente la anomalía térmica. Por lo que se ha emitido un **aviso de blanqueamiento** de corales, lo que aumenta gradualmente el riesgo de la progresión de condiciones conducentes al estrés térmico de los corales y el blanqueamiento entre finales octubre y mediados de noviembre.

De acuerdo con el CRWP de NOAA, el 56% de las estaciones virtuales en las costas de Puerto Rico a mediados de agosto de 2025 se encontraba aún bajo una **vigilancia de blanqueamiento** de corales. El restante 44% ya se encontraba bajo **aviso de blanqueamiento**.

Durante mediados de agosto la ola de calor marino leve (**nivel 1**) que se comenzaba a desarrollar a través de las Antillas Mayores y Menores, incluyendo a Puerto Rico, se disipó casi en su totalidad debido al impacto de mezcla de las capas de agua generado recientemente por el paso al noreste del Caribe del Huracán Erin de categoría 5 y vientos sostenidos de 160 mph.

El índice de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) se anticipa se mantenga moderadamente en su fase negativa (vientos alisios atenuados) durante gran parte del mes de septiembre. Estas condiciones deben redundar en una reducción notable de vientos, promoviendo las condiciones oceanográficas calmadas y probablemente fomentando un aumento gradual en la tendencia de calentamiento regional y en el estrés térmico sobre los corales.

Al momento, el riesgo de calor extremo marino y de un evento significativo de blanqueamiento de corales en los próximos dos meses ha cambiado de mínimo a moderado para el período entre finales de octubre y mediados de noviembre, aunque la emisión potencial de una **alerta 1 de blanqueamiento** podría ocurrir tan temprano como finales de septiembre.

No obstante, la *Sociedad Ambiente Marino* (SAM) advierte al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) y las demás agencias concernidas, así como a los municipios costeros, a implementar inmediatamente sus planes de contingencia para sorpresas ecológicas en los arrecifes de coral ante un posible impacto menor a moderado de blanqueamiento de los corales, posiblemente a partir de finales de octubre.

Igualmente, es importante revisar y garantizar la implementación de todos los planes de manejo de las reservas naturales, y los planes de control de calidad de agua y prevención de la contaminación. Así mismo, es crítico la implementación más apropiada posible de los planes de control de erosión y sedimentación para reducir este tipo de potenciales fuentes de estrés ambiental en la costa.

Esto debe ir acompañado de acciones remediadoras inmediatas de parte de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) para minimizar los salideros de agua, así como las descargas ilegales de aguas usadas a los cuerpos de agua y a la costa. Además, es importante que durante la operación de embarcaciones recreacionales se minimicen aquellas acciones que puedan causar estrés en los arrecifes de coral y ecosistemas asociados, como la navegación a alta velocidad en aguas llanas (y su consecuente resuspensión sedimentaria), el anclaje sobre arrecifes de coral y comunidades de hierbas marinas, y el vertido de desperdicios líquidos y sólidos en el mar. Es vital también que las actividades recreacionales (ej. buceo, snorkeling) se lleven a cabo minimizando los posibles impactos por contacto con los corales.

El blanqueamiento de corales es un fenómeno preocupante que se ha vuelto más frecuente y severo debido al cambio climático y otros factores ambientales. El año 2023 y 2024 por primera vez en la historia tuvimos dos eventos catastróficos en Puerto Rico y el Caribe. En el 2023 coincidió con el desarrollo intenso de El Niño, mientras que en el 2024 coincidió con un evento de La Niña. Por el momento, el 2025 se muestra bajo condiciones predominantemente neutrales, lo que por el momento minimiza los riesgos de un blanqueamiento masivo de corales, pero el riesgo de al menos enfrentar un evento de carácter moderado se hace latente. En esta etapa es momento de mantener la vigilancia sobre la posible evolución de este fenómeno y a la vez de repasar cualesquiera planes de contingencia en caso de que ocurra algún evento de blanqueamiento en los próximos meses.

Aquí hay algunas acciones clave adicionales que en Puerto Rico debemos considerar:

*Monitoreo y seguimiento:* Fortalecer y ampliar el Programa de Monitoreo de los Arrecifes de Coral que implementa el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales junto a sus colaboradores. Debe darse seguimiento a múltiples arrecifes de coral en los próximos meses para detectar la distribución espacial, severidad y consecuencias a corto, mediano y largo plazo del blanqueamiento masivo de corales. Esto implica llevar a cabo investigaciones científicas, utilizar tecnologías de monitoreo remoto y capacitar a especialistas locales (ej. ciudadanos científicos, estudiantes, miembros de organizaciones no gubernamentales) para colaborar en evaluar la salud de los corales.

*Protección de áreas marinas de interés y reservas naturales:* Establecer y ampliar las áreas marinas protegidas (AMP) que incluyan hábitats de coral saludables o aumentar la vigilancia y protección de las AMPs ya existentes, o en su defecto, proveerla en donde no existe desde hace mucho tiempo, como en la Reserva Natural Canal Luis Peña, en la Isla de Culebra. Estas áreas brindan protección adicional a los arrecifes de coral y ayudan a preservar la biodiversidad marina en general. Además, se debe implementar y hacer cumplir regulaciones para prevenir la pesca destructiva, el uso de técnicas de pesca no sostenibles, la navegación y el anclaje inapropiado, y la contaminación.

*Gestión de la calidad del agua:* Se debe implementar una moratoria inmediata en la deforestación de terrenos adyacentes a la costa, terrenos susceptibles a erosión, humedales, playas, etc. Además, se requiere implementar medidas para mejorar y mantener la calidad del agua en los ecosistemas de arrecifes de coral y en otros ecosistemas asociados. Esto puede incluir la reducción de la contaminación proveniente de fuentes terrestres, como la agricultura intensiva y el uso de fertilizantes, las escorrentías urbanas, las descargas ilegales de aguas usadas crudas, así como el control de la erosión costera.

*Sensibilización y educación:* Se requiere llevar a cabo campañas inmediatas de sensibilización pública para informar a la población sobre la importancia de los arrecifes de coral, los impactos

del cambio climático, los riesgos y consecuencias de este evento de blanqueamiento, y las acciones individuales que se pueden tomar para proteger los ecosistemas marinos. También es importante educar a las comunidades locales y a los sectores turísticos sobre las prácticas sostenibles de la navegación, el buceo y el “snorkeling” para minimizar el daño a los corales.

*Restauración de arrecifes de coral:* Se requiere apoyar inmediatamente el desarrollo de programas de restauración de arrecifes de coral como los que lleva a cabo desde el año 2003 la Sociedad Ambiente Marino (<https://sampr.org>) para ayudar a recuperar los arrecifes impactados por el blanqueamiento, las enfermedades de corales y los huracanes, entre otros factores. Esto puede incluir técnicas como la cría de corales en viveros y su posterior trasplante a áreas degradadas. También es sumamente necesario la protección de los corales en los viveros submarinos mediante la utilización de sistemas de cortinas filtrantes de la luz solar para crear sombras y minimizar el impacto del calentamiento del mar, reduciendo el riesgo de blanqueamiento de los corales.

*Mitigación del cambio climático:* A largo plazo, es vital reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la adopción de fuentes de energía renovable. Esto implica implementar políticas y medidas que fomenten la eficiencia energética, la conservación de energía y la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles.

*Cooperación internacional:* A largo plazo, también resulta fundamental desarrollar iniciativas de trabajar en colaboración con otros países, organizaciones internacionales y científicos para intercambiar información, compartir mejores prácticas y abordar el blanqueamiento de corales a nivel regional y global. Esto incluye participar en acuerdos internacionales como el Acuerdo de París sobre el cambio climático, entre otros similares.

Es importante destacar que estas medidas no solo deben ser implementadas por los gobiernos, sino que también requieren la participación y colaboración de la sociedad civil, el sector privado (ej. Industria hotelera, turística, servicios, otros sectores industriales), la academia, las organizaciones no gubernamentales y las comunidades locales. La protección de los corales y los ecosistemas marinos es vital para la recuperación económica de Puerto Rico y es responsabilidad de todos y no solo del gobierno. Por ello es muy importante que se tomen todas las medidas posibles para minimizar cualquier otro factor ambiental local que pueda poner en riesgo a los corales ante la eventualidad de un posible evento significativo de blanqueamiento durante los próximos meses.

La *Sociedad Ambiente Marino* emitirá mensualmente durante los próximos meses una actualización del estado de los océanos alrededor de Puerto Rico y el Caribe, con una actualización de la evolución del fenómeno de La Niña y otras condiciones naturales asociadas, con recomendaciones específicas sobre medidas de manejo y mitigación de impactos.

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.