

Observaciones de SST e Intensificación del Huracán Irma

Morales Cáez, María¹, Tardí Rodríguez, Kevin¹

Departamento de Física, Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayagüez¹

I. Resumen

El huracán Irma ha sido catalogado como parte de los huracanes más poderoso del que se haya registrado en Océano Atlántico, debido a sus fuertes vientos sostenidos de 185 mph. Para el estudio que su intensificación se estudió uno de los aspectos claves, que es observar las temperaturas de la superficie del océano. Debido a que deben encontrarse al menos a 26.5 °C la temperatura de la superficie de los océanos (SST) para poder desarrollarse una depresión (primera etapa para que formen este fenómeno de intensa baja presión). Además, se observó una intensificación el huracán tras la comparación de la temperatura del ojo del huracán y la temperatura que había en la pared del ojo tras el transcurso de su trayectoria. Así como también, se encontró que tras su desarrollo el 1 de septiembre de 2017 las temperaturas del océano antes de su paso de encontraba con un incremento 2°C. Utilizando imágenes satelitales de la plataforma NOAA-19 que posee el sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)* se utilizó para el estudio de las temperaturas. Donde utilizando el programa ENVI se procesaron las imágenes utilizando las herramientas de *Sea Temperatures AVHRR* y *Georeference AVHRR*. Se encontró una disminución en la temperatura luego del paso del huracán en la región y que su intensificación puede atribuir la intensidad de las temperaturas a fenómenos sinópticos como 'La Niña'.

Palabras clave: AVHRR, Huracán Irma, La Niña, intensificación, SST

II. Introducción

Para el estudio de la meteorología, es mucho de interés conocer las condiciones del tiempo en áreas cercanas al lugar en que vivimos y en el planeta Tierra. Es por ello que es importante conocer los datos exactos que brindan algunos satélites meteorológicos para estudiar fenómenos atmosféricos que se avecinan cada año a Puerto Rico. El sistema de percepción remota brinda las herramientas necesarias para estudiar este tipo de eventos atmosféricos.

A medida que pasa el tiempo, nuevas preocupaciones surgen debido los cambios de escala global en el planeta Tierra. Esto incluye, uno de los fenómenos más preocupantes de hoy día; el cambio climático. El cambio climático ha influido grandemente en el área de la meteorología y las ciencias atmosféricas. Lo implica que, los impactos que surgen del cambio climático afectan directamente el estudio de la atmósfera.

Esto conlleva a impactos a nuestra isla caribeña. Año tras año se ha visto azotada por varios huracanes. Estos tienen la peculiaridad de utilizar las aguas del océano Atlántico para su propio fortalecimiento dónde obtiene la energía por medio de procesos convectivos (forma de transferir el calor; donde el movimiento predominantemente son los verticales, donde el

aire sube en altura debido al calentamiento de la superficie por el sol y el aire más frío desciende) y energía liberada por el calor latente (energía liberada o absorbida que se necesita una sustancia para cambiar de estado). Sin embargo, podemos ver cómo estos sistemas de bajas presiones que surgen cerca del continente africano se fortalecen rápidamente hasta convertirse en huracanes de fuerte estructura. Eso lleva a querer estudiar cómo se relacionan las temperaturas de la superficie del océano y el fortalecimiento de los sistemas en el área del océano Atlántico y el Mar Caribe.

Primeramente, hay mencionar que para el desarrollo, fortalecimiento e intensificación de estos fenómenos la primera condición es que la temperatura del océano se encuentre al menos a 26.5 °C. Esto se debe a que los huracanes requieren calor (temperaturas altas) ya que proporciona una de las herramientas para el desarrollo de nubes. La segunda condición es que la temperatura de la superficie del océano debe estar al menos 26.5 °C por una profundidad de 60 metros para que pueda desarrollarse el huracán. Ya que una capa del océano que por esa profundidad no se encuentre a una temperatura de 26.5°C no ayudaría al fortalecimiento e intensificación de este, lo debilitaría si no fuese el caso. Debido a que esta temperatura se encuentra vinculada con la inestabilidad de la atmósfera en las latitudes tropicales.

Es por esto que se decidió estudiar el caso del Huracán Irma. Específicamente su proceso de fortalecimiento, en particular observando la temperatura de la superficie de los océanos antes de su paso. El huracán Irma, impactó el Caribe la semana del 3 al 9 de septiembre de 2017 con una clasificación de categoría 5 según la escala Simpson. Donde este huracán fue reconocido como uno de más poderosos en la historia del Atlántico ya que poseía vientos de sostenidos hasta de 185 mph.

III. Objetivos

Los objetivos constaban en observar la temperatura del océano, durante el trayecto del desarrollo del Huracán Irma. Así como también, investigar el fortalecimiento e intensificación huracán cada 3 días. Finalmente, mostrar la relación entre temperaturas superficiales del mar y el fortalecimiento de huracanes.

IV. Metodología

Para términos de estudiar la temperatura de la superficie oceánica, primero se llevó cabo una búsqueda de sensores que pudiesen proveer dicha información. Resultó que el sensor que cumplía con todos los parámetros para la investigación fue el *AVHRR (Advanced*

Very High Resolution Radiometer). Donde en la plataforma de internet *NOAA Class* facilitaba el poder descargar las imágenes de este sensor (AVHRR). Luego, se procedió a evaluar el área de estudio y el lapso de tiempo entre las imágenes. El área a estudiar fue a lo largo de la trayectoria del huracán Irma y fue dividida en 3 partes, para un intervalo de 3 días de diferencia entre ellas. Con la ayuda de la plataforma digital *Earth Nullschool* y data sobre la trayectoria del huracán, pudimos ir localizando la posición del huracán con sus coordenadas específicas para tener un mejor análisis. Al descargar las imágenes, se abrieron las imágenes en el programa ENVI para saber eran factibles y verificar que no había problemas.

Algunos problemas encontrados fueron: la cantidad de nubes y la luz del sol que se reflejaba en la superficie del agua. Ambos factores, podrían determinar un cambio en las señales que recibe el sensor. Luego, al escoger las imágenes más aptas se le aplicó la herramienta del *Raster Manager* de ENVI llamada *AVHRR Sea Surface Temperature (SST)*. Se procedió a georeferenciar la imagen con el SST con la imagen original, utilizando la opción de *Georeference AVHRR*. Se les aplicó la paleta de colores “*Hue Sat Value 2*“, *Color bar* y un Grid en *UTM* y otro con *General Lat, Long*. Además, un *histogram stretch*, para poder definir mayor diferencia entre los colores a distintas temperaturas. Por último, se escogieron puntos con la *data value* antes y después del paso del huracán para comparar las temperaturas del agua y se corrió un *Quick Data* para analizar los valores de la señal de la data.

Además, se utilizó data y modelos fuera de ENVI para concretar las conclusiones. Se utilizó la plataforma de la *International Research Institute for Climate and Society* donde se realizó un Diagrama de Hovmoller. Donde utilizando data de la *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, *National Climatic Data Center (NCDC)* y *Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST)* versión 2 el cual utiliza data del AVHRR, *Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR)*. Ambos sensores se utilizan en combinación con *in situ* data proveniente de barcos y boyas. Obteniendo un gráfico de las anomalías de las temperaturas de la superficie de los océanos para la región de latitud de 15N a 20N a 75W a 25W para la fecha de 25 de agosto de 2017 a 25 de septiembre de 2017.

Por otra parte, se utilizó la plataforma de *Asia-Pacific Data Research Center* que es parte del *International Pacific Research Center* en la Universidad de Hawaii en Mānoa. Donde utilizando el modelo de *Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM)* observando las SST para la fecha del 1 de septiembre de 2017, la cual se utilizó para comparar la imagen

satelital procesada para la misma fecha. Además, se realizó un gráfico de los modelos HYCOM y *Navy Coupled Ocean Data Assimilation* (NCODA) *Global 1/12 Degree Analysis* (3D) donde se podía observar la temperatura mínima (del 1 al 10 de septiembre de 2017 en la latitud 10N a 26N en la longitud 60W) del océano con respecto a la profundidad.

V. Resultados

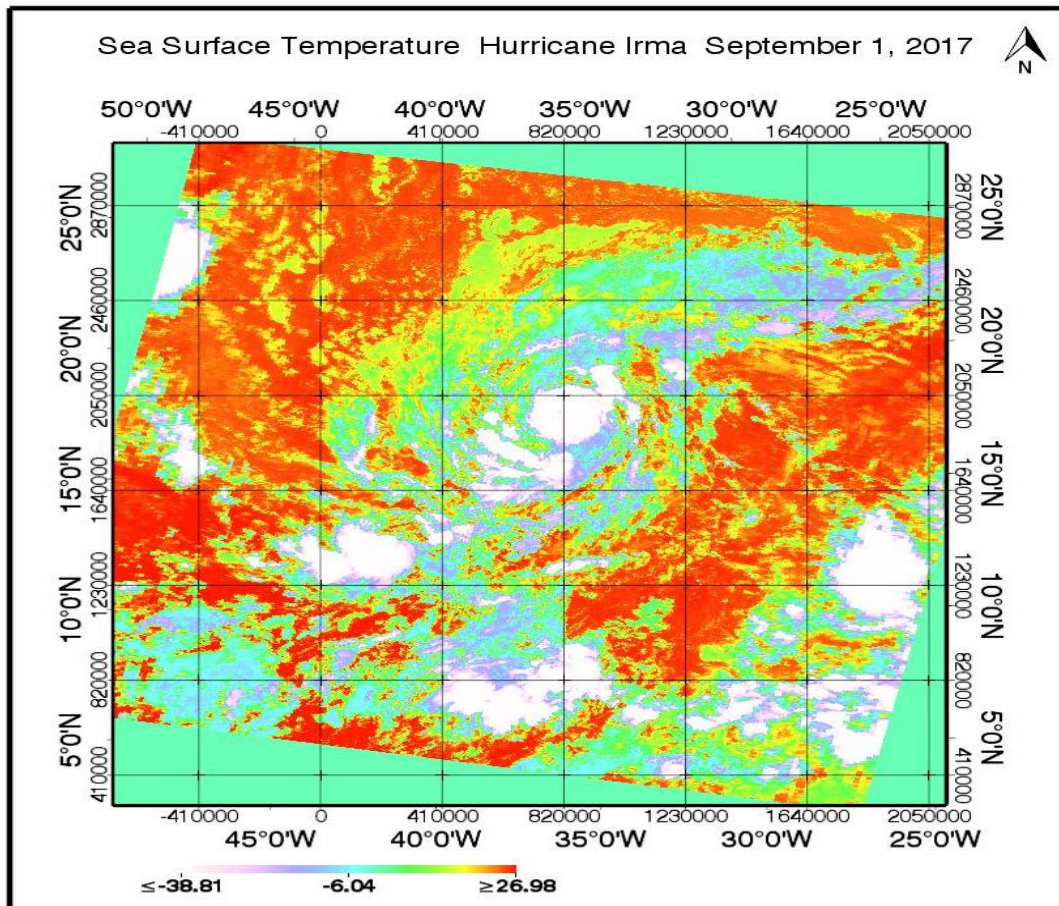


Figura 1: Imagen procesada en el programa ENVI del sensor AVHRR del 1 de septiembre de 2017, el huracán Irma se encontraba en la latitud 18.2°N y -36.5°W donde se encontraba como categoría 3 para esa fecha. En la parte inferior izquierda se observa una barra de colores donde los números presente representan la temperatura en grados Celsius.

En la figura 1 en la parte izquierda inferior se observa un color rojo bien intenso lo que representa según la barra de color un valor de 26.98°C. Por otro lado, en la parte derecha, se observa un color anaranjado lo cual representa un valor menor de 26.98°C claramente, esta región presenta una disminución de temperatura características del paso del huracán Irma. Esta disminución de temperatura se debe a la absorción de la energía por medio de la convección y la liberación de calor latente al condensar las burbujas de aire al ascender por medio de la convección. Se observa en la figura 1 que hay regiones que poseen una temperatura de -38.81°C; la misma corresponde a la temperatura de las nubes que se

encuentran en la parte alta de la troposfera. A medida que se va intensificando se puede observar que irá disminuyendo debido a su fortalecimiento con el paso del tiempo.

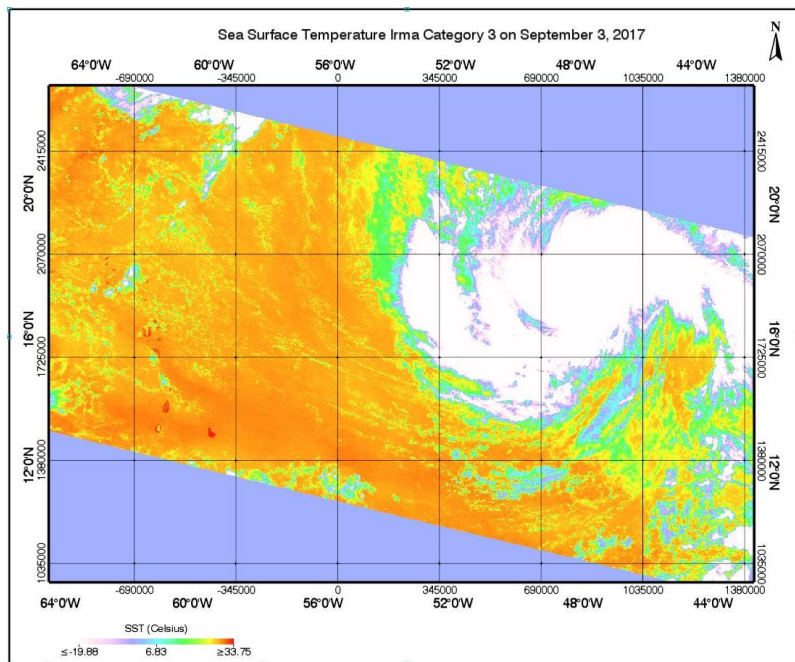


Figura 2: Muestra la temperatura de la superficie del agua tras el paso del huracán Irma. El centro del huracán se encontraba aproximadamente en la latitud 17.2°N y longitud -48.6°W (más cerca de la Islas Vírgenes). Imagen procesada en el programa ENVI del sensor AVHRR durante la fecha del 3 de septiembre de 2017.

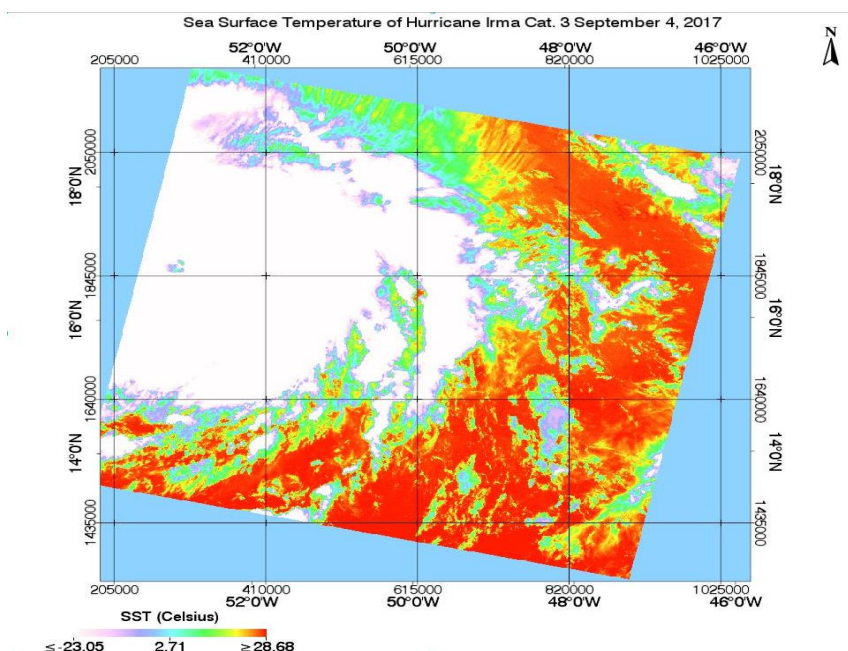


Figura 3: Muestra la temperatura de la superficie del agua tras el paso del huracán Irma. Imagen procesada en el programa ENVI del sensor AVHRR del 4 de septiembre de 2017 y el huracán se encontraba en las coordenadas 16.6°N y 53.4°W.

Si vemos la Figura 2 y Figura 3, a pesar, de tener colores distintos debido al *Histogram Stretch* que se le aplicó, se puede notar en el color bar los valores máximos y mínimos. Los valores, si los traducimos a temperaturas en el Celsius, se puede notar una disminución en los valores de la barra de colores. En la imagen de la izquierda el rango de los valores de -20°C a 35°C . Por otro lado, la imagen de la derecha nos muestra un rango de entre -25°C a 30°C . Aunque, las imágenes tienen varias debilidades debido a las señales de la tierra y las nubes que añaden valores que no son de la superficie del agua, en general, las temperaturas disminuyeron. (véase Figura 4)

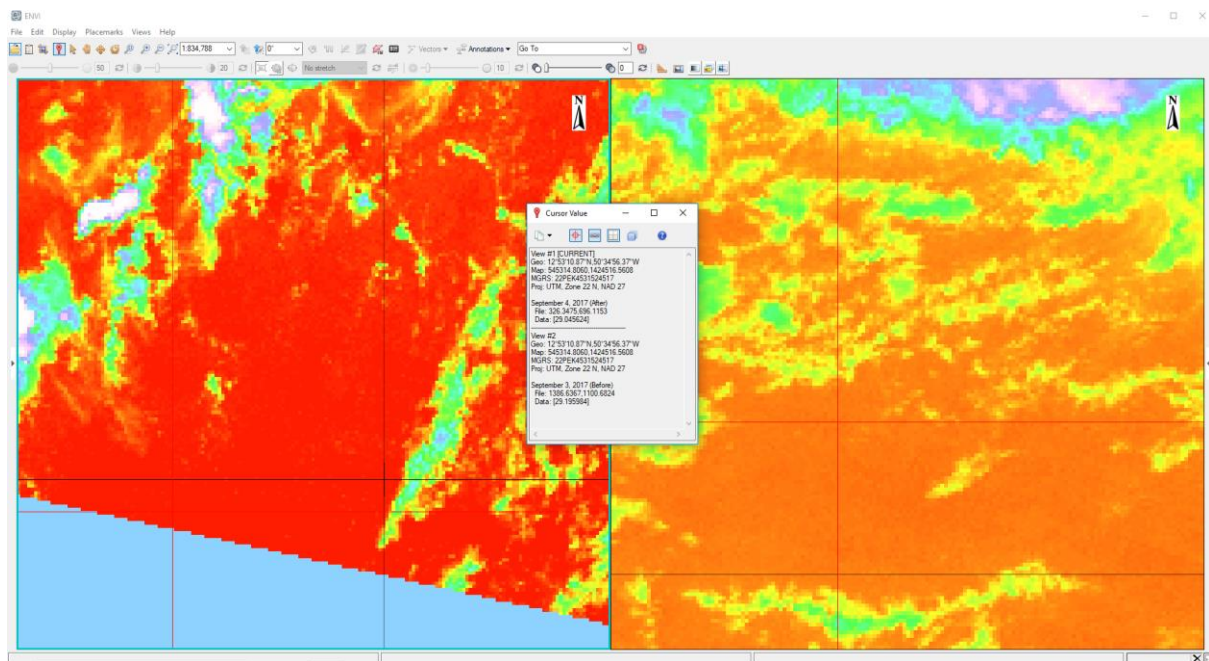


Figura 4: Muestra el valor de temperatura de la superficie del agua en la coordenada 12.53°N y 50.34°W antes y después del paso del huracán Irma. La imagen de la izquierda representa la Figura 3 y la imagen de la derecha, la Figura 4. Ambas llevadas al área de la coordenada de estudio.

Para ser más específicos, se escogieron dos puntos en el océano, para evitar estar comparando señales de tierra y nubosidad. Para un mismo punto, se pudo encontrar una disminución en la temperatura. (véase Figura 4). Significando que tras el paso del huracán por el ese punto la temperatura pasó de 29.19°C a 29.0°C . Aunque parece poco podemos ver una disminución de casi medio grado en la escala Fahrenheit y de 0.19°C . Otro factor que afecta el cambio de temperatura fue la distancia en la que estaba del ojo del huracán. Ya que, a más cerca del ojo del huracán la cantidad de energía absorbida es mayor. Debido a la cantidad de nubes que tiene la Figura 3, fue un poco difícil encontrar áreas despejadas más

cerca del ojo del huracán.

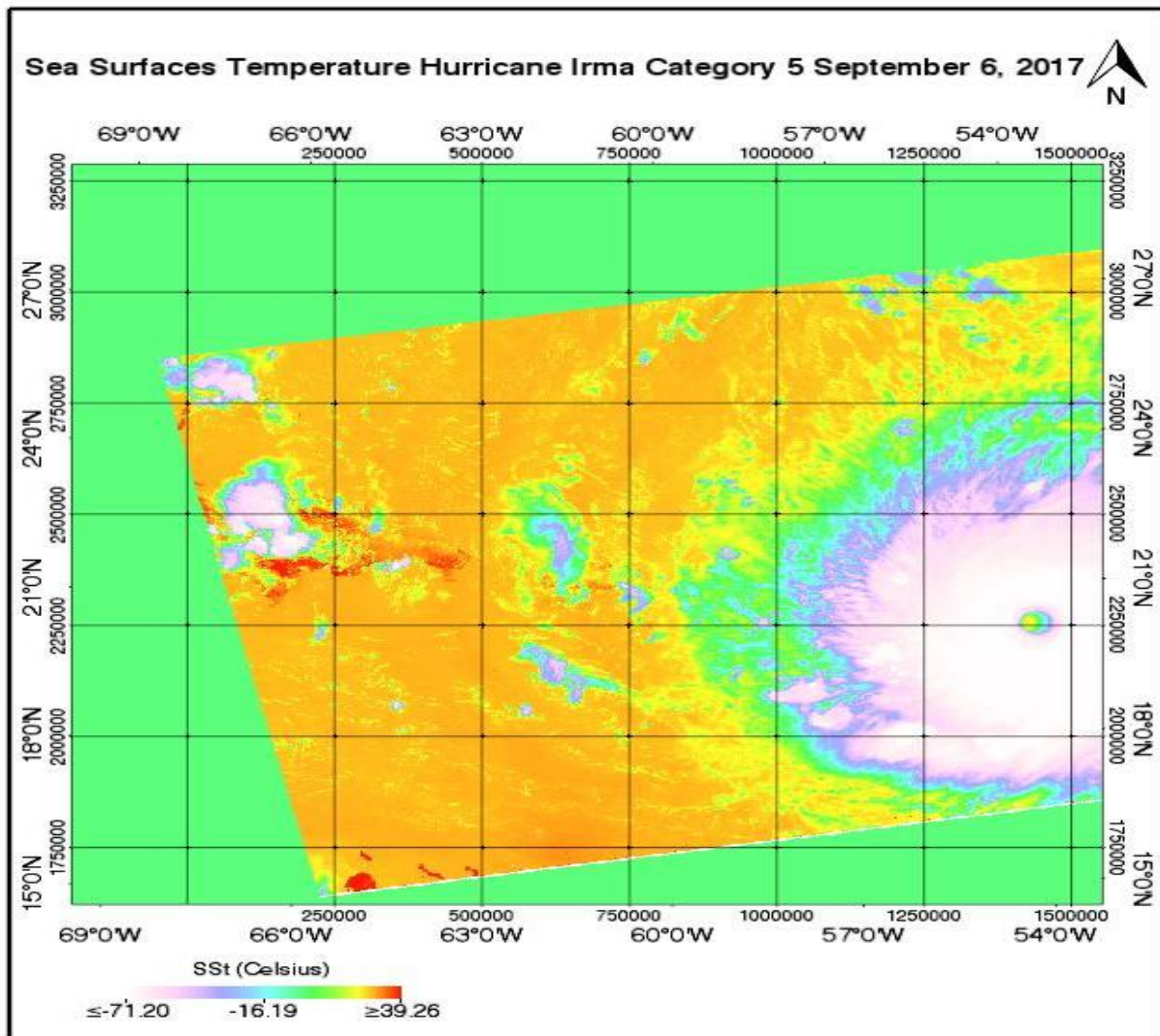


Figura 5: Imagen procesada en el programa ENVI del sensor AVHRR del 6 de septiembre de 2017, el huracán Irma se encontraba en la latitud 19°N y longitud -65.8°W donde se encontraba como categoría 5 para esa fecha; se observa que el huracán se encontraba a poco antes de llegar a la isla caribeña Puerto Rico. En la parte inferior izquierda se observa una barra de colores donde los números presente representan la temperatura en grados Celsius. En esta imagen se puede observar que el color rojo presenta la temperatura para las regiones geográficas que los países que se observan.

En la imagen 5 se puede observar que el huracán se ha ido intensificando, ya que la temperatura en las nubes (en la alta capa de la troposfera) presenta unos -71.20°C en comparación con la imagen 1 (tenía una temperatura de -38.81) presenta un aumento de -40°C. Para el momento de 1 de septiembre el huracán Irma se encontraba como categoría 3

con el paso del tiempo para el 6 de septiembre su intensificación la fortaleció hasta llega a la categoría 5.

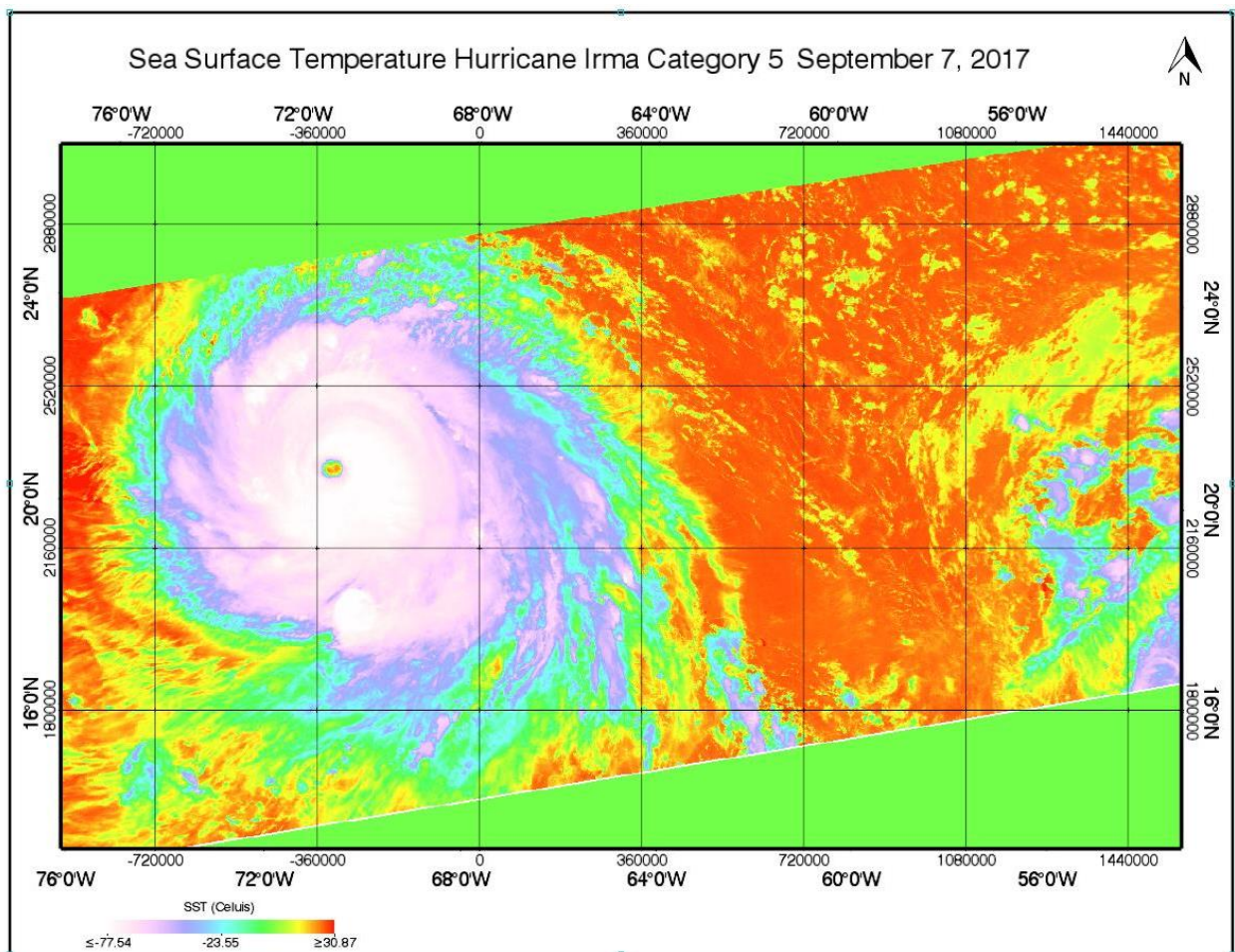


Figura 6: Imagen procesada en el programa ENVI del sensor AVHRR del 7 de septiembre de 2017, el huracán Irma se encontraba en la latitud 20.1°N y longitud -71.1°W donde se encontraba como categoría 5 para esa fecha; se observa que el huracán se encontraba pasando por el norte de la isla caribeña Puerto Rico. En la parte inferior izquierda se observa una barra de colores donde los números presente representan la temperatura en grados Celsius.

En la imagen 6 se observa que hay una disminución de temperatura tras el paso se huracán ya que se observa en la parte derecha de la imagen un color anaranjado y color rojo en la parte izquierda que representa valores de temperatura de 30.87°C. Además, en esta imagen se puede observar que la temperatura del ojo se encuentra a 30.87°C y la pared del ojo valores de -77.54°C esto representa una diferencia de -46.6°C lo cual implica que el huracán presenta una gran intensificación.

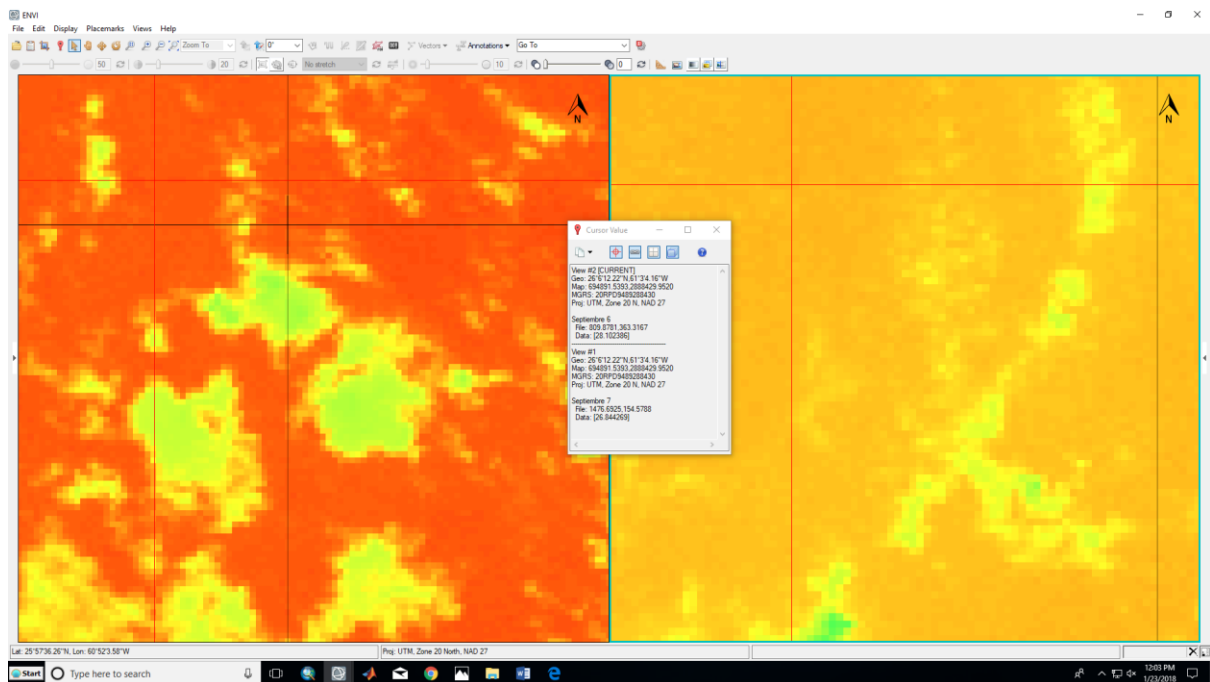


Figura 7: Muestra el valor de temperatura de la superficie del agua en la coordenada 26.6N y -61.3°W.

En la figura 7, se observa también la disminución en la temperatura del océano tras el paso del huracán. En la parte izquierda se observa un color rojo intenso lo que representa un aumento en las temperaturas y en la derecha de la imagen se observa un color anaranjado que presenta una disminución de la temperatura tras el paso del huracán de la región. Nuevamente se observa una disminución en la temperatura de las nubes lo que se puede relacionar con su intensificación. En modo de comparación para observar la disminución más clara, con la herramienta que *Cursor value* se buscó un pixel con la misma posición geográfica para observar la temperatura. En este caso, el pixel en la posición 26.6 N, -61.3W el 6 de septiembre correspondía a un valor de 28.1°C su temperatura y 26.8°C el 7 de septiembre. Se observa que para ese punto hubo una disminución de 1.3°C en la temperatura tras el paso.

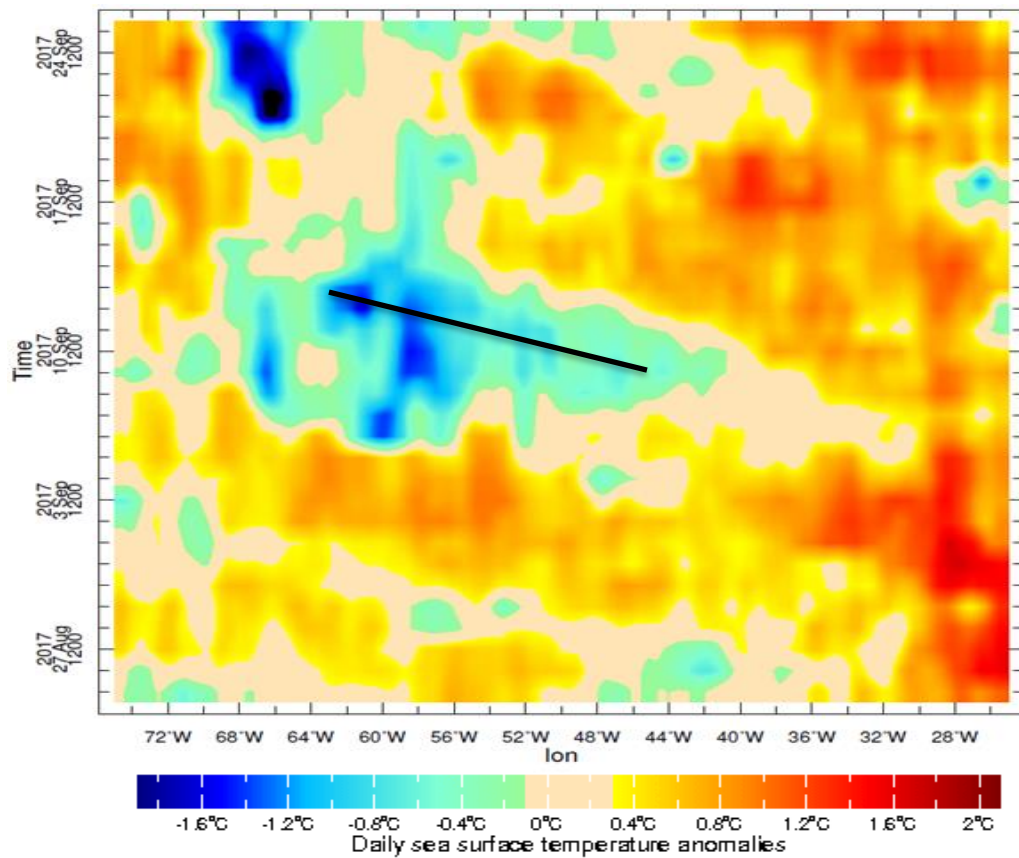


Figura 8: Diagrama de Hovmoller de las anomalías de las temperaturas de los océanos en la región de 15N a 20. La línea negra representa el huracán Irma.

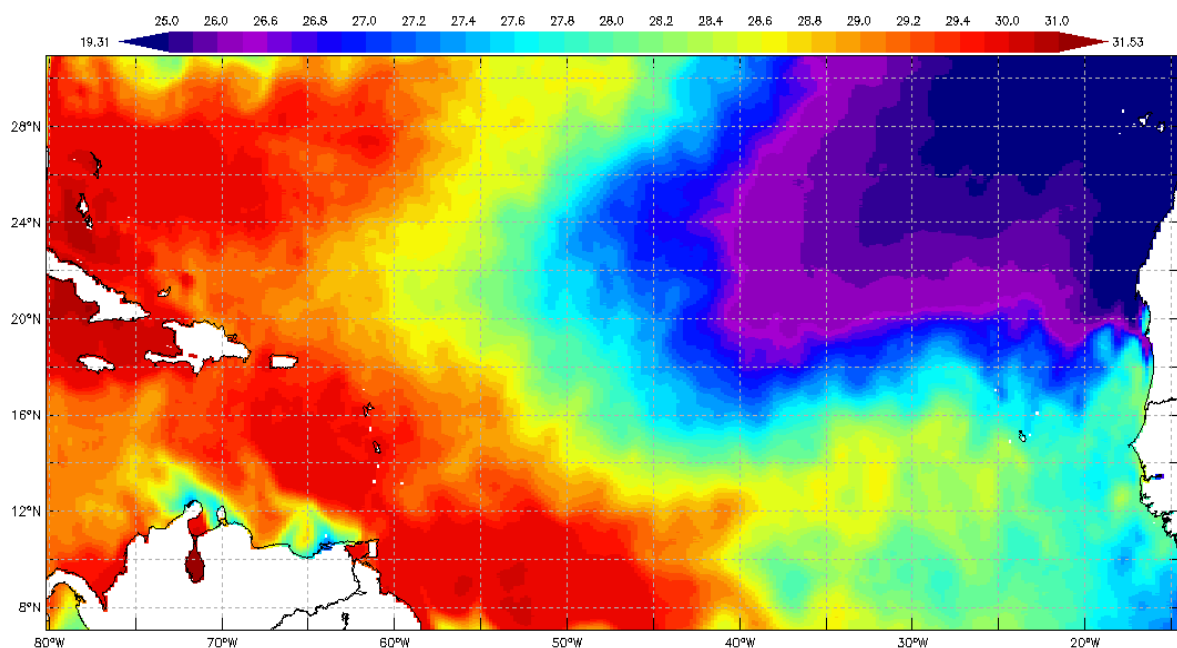


Figura 9: Presenta las temperaturas se la superficie del océano del modelo HYCOM donde el huracán Irma se encontraba aproximadamente en la ubicación 18°N y -35°W.

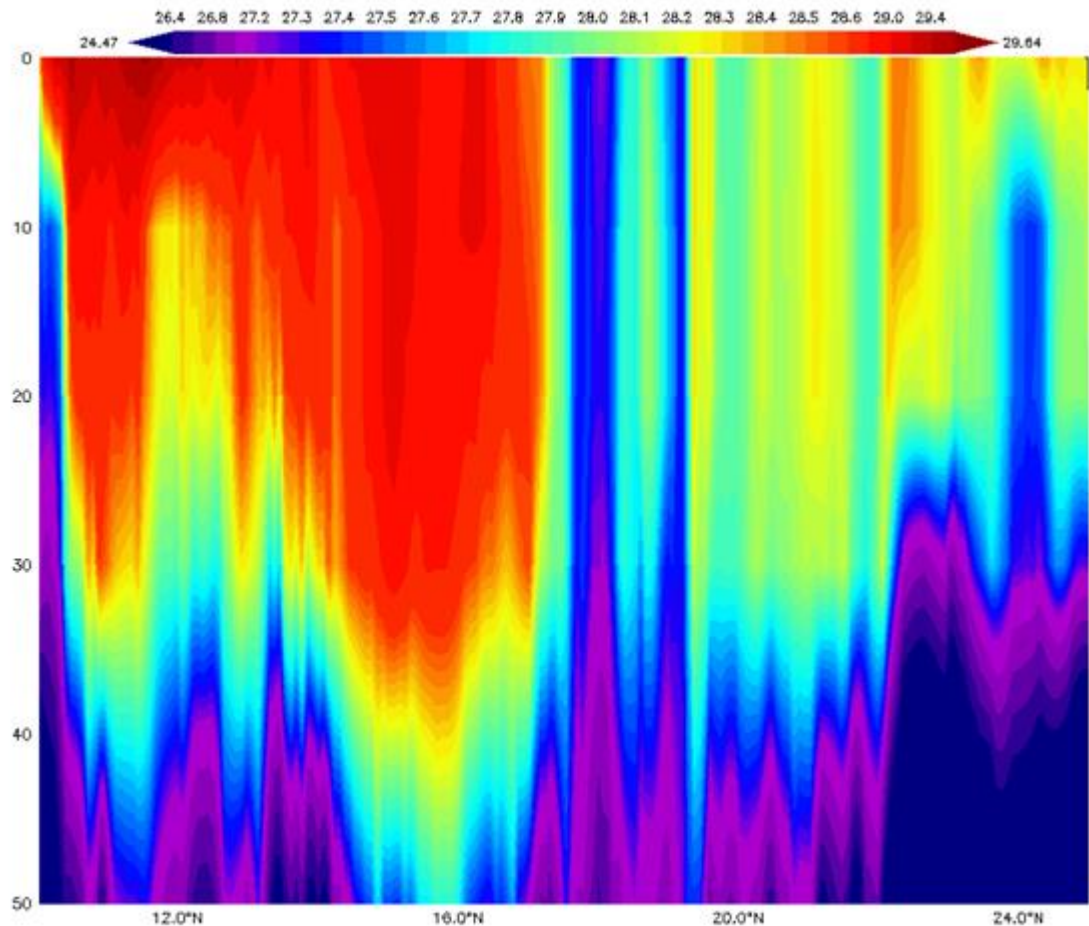


Figura 10: Sección de las temperaturas mínimas de la profundidad del océano de 10N a 26N en -60W del 1 al 10 de septiembre de 2017.

Las imágenes 8 a 10 nos ayudan como material de soporte para el análisis y comprensión de los datos. Como se mencionó anteriormente la primera condición para el desarrollo óptimo es que la temperatura del océano se encuentre al menos a 26.5 °C. En la imagen 9 se puede observar que gran parte de la región del Océano Atlántico y el Mar Caribe posee temperaturas mayores de esta condición. Lo que le facilita a su desarrollo. En la imagen 8 se observa el diagrama de Hovmöller de las anomalías de las temperaturas de los océanos en la región especificada, donde presenta una disminución de -1.2°C a -0.8°C en la temperatura tras el paso del huracán. Lo que implica que el huracán adquirió esa energía para fue fortalecimiento y tras su paso enfrió las temperaturas del océano. Por otra parte, la imagen 10 presenta una sección de las temperaturas mínimas de la profundidad del océano y se observa nuevamente esa disminución de las temperaturas del océano tras el paso de huracán. Donde se observa que en las regiones donde no paso el huracán todavía se

encuentran las temperaturas del océano en la profundidad.

También, se comparó la temporada de huracanes del 2017 con años anteriores, comenzando desde el 2001 hasta el 2017. Las siguientes tablas son sacadas de la página de *Wikipedia.org* que realizaron con los datos corroborados del *National Hurricane Center*.

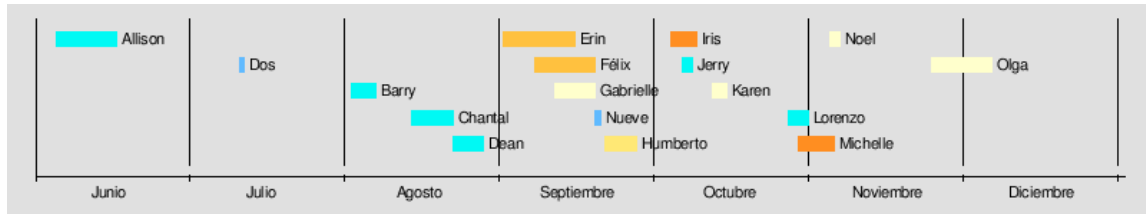


Figura 11: Nos muestra la temporada de huracanes del Atlántico para el 2001.

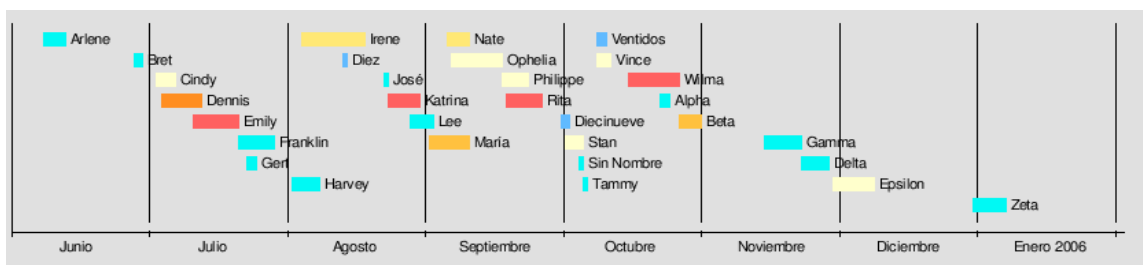


Figura 12: Nos muestra la temporada de huracanes del Atlántico para el 2005.

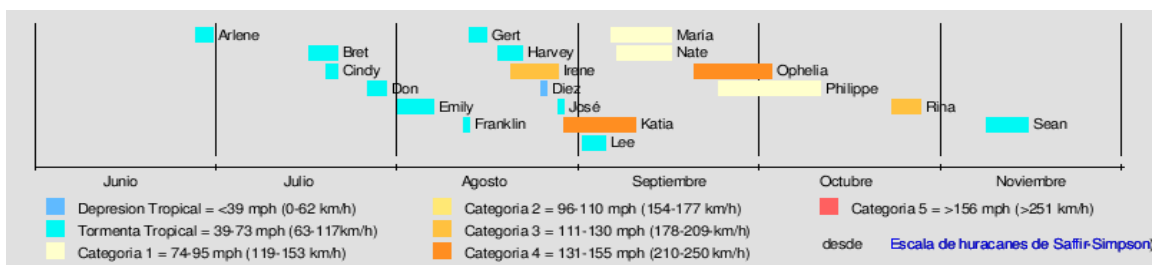


Figura 13: Nos muestra la temporada de huracanes del Atlántico para el 2011.

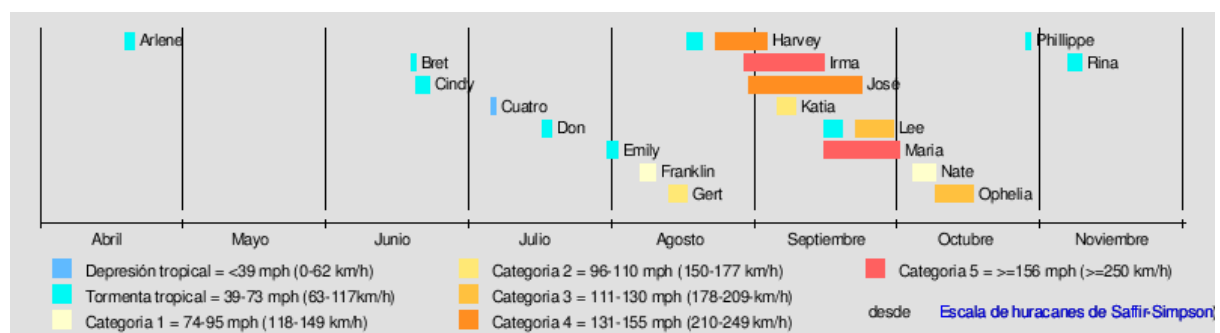


Figura 14: Nos muestra la temporada de huracanes del Atlántico para el 2017.

Se encontró que para los años 2005, 2011 y 2017 hubo una actividad atmosférica mayor para el Océano Atlántico. Donde hubo una mayor cantidad de huracanes y de mayor fortaleza. Eso se pudo atribuir al fenómeno de ‘La Niña’. Se encontró que era una variable común para los años en donde hubo una mayor actividad de huracanes para el Atlántico:

El Niño	La Niña
	1998–2001
2002–03	
2004–05	2005–06
2006–07	2007–08
	2008–09
2009–10	2010–11
	2011–12
2015–16	2016
2016–17	2017–18

Recurso: *El Niño and La Niña Years and Intensities* / Wikipedia

De los años del siglo XXI, el 2005 fue uno de los más activos en cuanto a huracanes en el Atlántico. (véase Figura 12). Así que, se decidió comparar las temperaturas de la superficie del agua para los años 2005 y 2017.

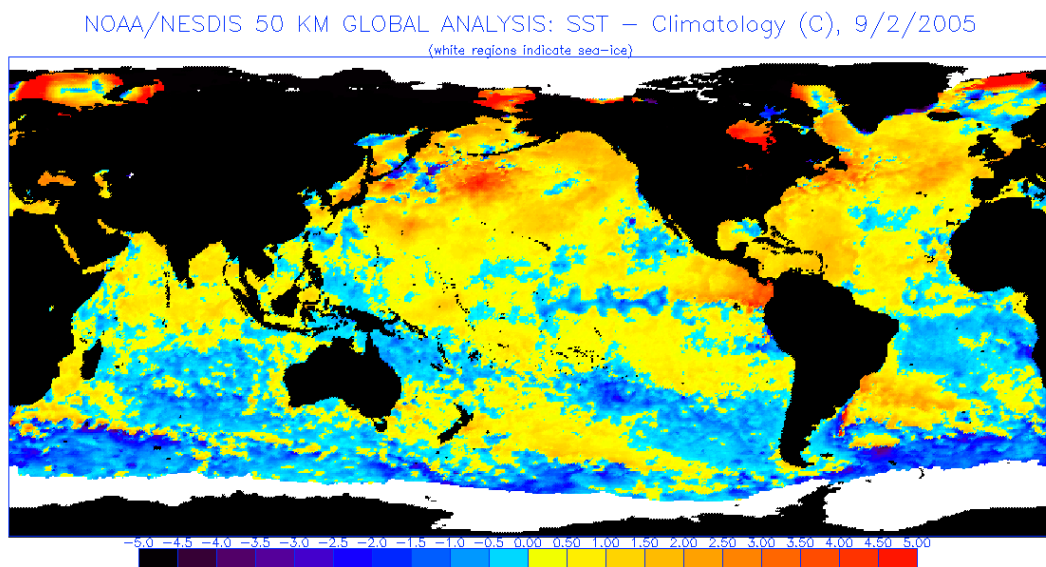


Figura 15: Anomalías en las temperaturas de la superficie oceánica para el globo terráqueo en septiembre de 2005. Recurso: NOAA OSPO (NOAA Office of Satellite and Product Operations)

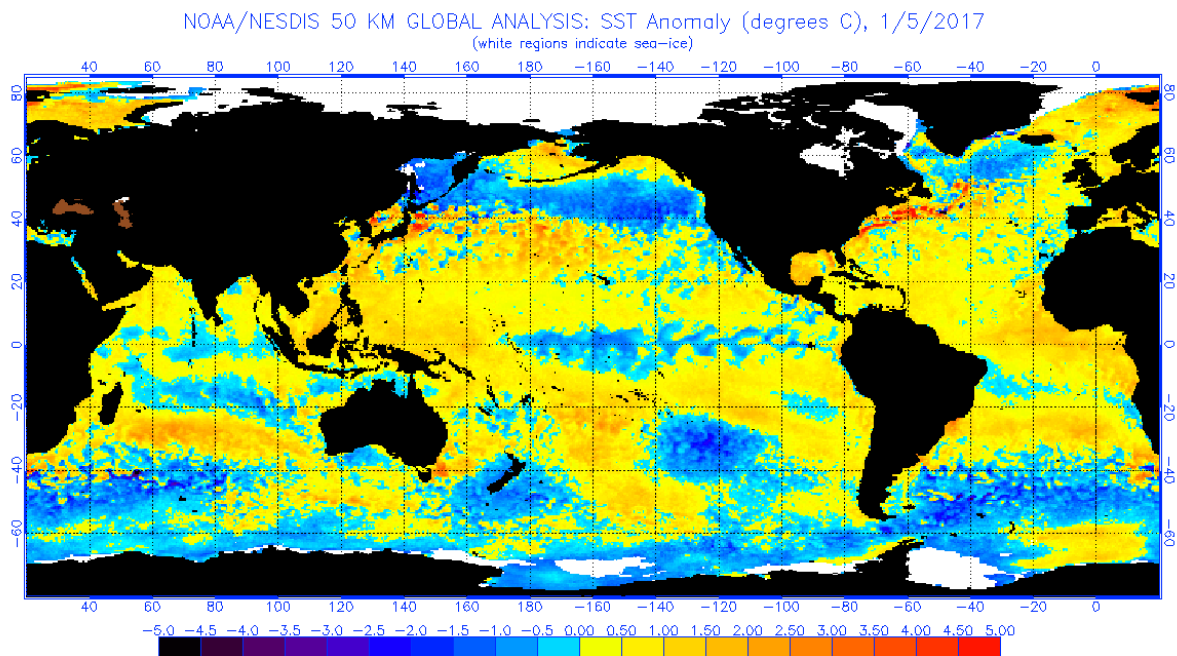


Figura 16: Anomalías en las temperaturas de la superficie oceánica para el globo terráqueo en enero de 2017. Recurso: *NOAA OSPO*

Al comparar la Figura 16 y Figura 17, podemos notar que las anomalías en temperatura aumentaron en parte del Atlántico, siendo aún tiempo de invierno para el hemisferio norte del planeta. Esto implicaría que el fenómeno de La Niña afecta las temperaturas del Atlántico, elevando las y haciendo un ambiente óptimo para el desarrollo de sistemas tropicales. Sin embargo, como se pudo notar en la Figura 12 y 14, aunque la temporada de 2005 tuvo más huracanes de categoría 5, en el 2017, los huracanes tuvieron una mayor duración siendo sistemas de muy bajas presiones.

VI. Conclusión

Al analizar las imágenes, se pudo ver una disminución general en las temperaturas de la superficie del océano. A medida que el huracán, se acercaba a aguas más calientes como las del Mar Caribe, el cambio de las temperaturas se hacía más notorio. Se pudo encontrar una relación directa entre la temperatura de la superficie del océano y fortalecimiento del huracán Irma. También, se pudo identificar, zonas de fortalecimiento más pronunciado como lo son la pared del ojo. A más lejos del mismo, menos absorción de calor y viceversa. Las temperaturas frías también dan indicios del fortalecimiento del sistema. Tras el paso del huracán, los valores negativos muestran una disminución en temperaturas en la señal de las nubes. Lo que implica una expansión en las nubes y a su vez, fortalecimiento del ciclón

tropical. Se puede atribuir la intensidad de las temperaturas a fenómenos sinópticos como ‘La Niña’, ya que, los ciclones fueron muy fuertes durante este año. Sin embargo, debe haber una razón por la que estos fenómenos se están intensificando a medida que pasan los años. Además, se puede concluir también que las imágenes de satélite con sensores que posean banda infrarroja se pueden utilizar para observar la diferencia entre la temperatura del ojo (caliente) y la temperatura de las nubes que rodean al ojo (fría). Cuanto mayor sea la diferencia, se estima que sea más intenso el ciclón tropical. (*Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory of NOAA*)

VII. Recomendaciones

Realizar una máscara para tapar los valores de los países que aparecen en las imágenes para observar los datos exclusivamente de la temperatura de la superficie del océano. Se podría investigar el fenómeno de la Niña y buscar cuál es el patrón de intensidad del fenómeno desde años remotos. Ya que, se quisiera ver si este fenómeno tiene un cierto patrón de fortalecimiento o tiene altas y bajas a través de los años. De esta manera, se pueden estimar y/o predecir la intensidad de próximos fenómenos atmosféricos como lo son los huracanes.

VIII. Referencias

Asia-Pacific Data-Research Center

www.apdrc.soest.hawaii.edu/dods/public_data/satellite_product/GHRSST/ghrsst_global

Asia-Pacific Data-Research Center | Data, www.apdrc.soest.hawaii.edu/data/data.php

Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory of NOAA,

www.aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/TCFAQ_H_esp.txt

Beccario, Cameron. “Earth :: a global map of wind, weather, and ocean conditions.” *Earth :: a global map of wind, weather, and ocean conditions*,

www.earth.nullschool.net/#2017/09/01/2100Z/wind/isobaric/1000hPa/overlay=temp/orthographic=-57.37,21.92,1514/loc=-39.183,18.920

Documentation Center [Harris Geospatial Docs Center],

www.harrisgeospatial.com/docs/avhrrseasurfacetemperature.html

Data: NOAA NCDC OISST version2 AVHRR anom,

www.irdl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.OISST/.version2/.AVHRR/.anom/

Golden Gate Weather Services- *El Niño and La Niña Years and Intensities*

<http://ggweather.com/enso/oni.htm>

“Hurricane Irma.” *Weather Underground*,

www.wunderground.com/hurricane/atlantic/2017/hurricane-irma?map=history

NOAA AVHRR - *Earth Online* - ESA, [www.earth.esa.int/web/guest/missions/3rd-party-](http://www.earth.esa.int/web/guest/missions/3rd-party-missions/current-missions/noaa-avhrr)

[missions/current-missions/noaa-avhrr](http://www.earth.esa.int/web/guest/missions/3rd-party-missions/current-missions/noaa-avhrr)

NOAA OPSO- *Operational SST Anomaly Charts*

<http://www.ospo.noaa.gov/Products/ocean/sst/anomaly/>

“Tips for georeferencing AVHRR images in ENVI.” *Harris Geospatial Solutions*,

www.harrisgeospatial.com/Support/SelfHelpTools/HelpArticles/HelpArticles-Detail/TabId/2718/ArtMID/10220/ArticleID/19702/1632.aspx

Wikipedia- *Temporada de huracanes en el Atlántico (Season Images)*

https://es.wikipedia.org/wiki/Temporada_de_huracanes_en_el_Atl%C3%A1ntico_de_2001

https://es.wikipedia.org/wiki/Temporada_de_huracanes_en_el_Atl%C3%A1ntico_de_2005

https://es.wikipedia.org/wiki/Temporada_de_huracanes_en_el_Atl%C3%A1ntico_de_2011

https://es.wikipedia.org/wiki/Temporada_de_huracanes_en_el_Atl%C3%A1ntico_de_2017