

El Huracán Otis y el Cambio Climático

Claudia Rojas Serna
Ingeniería Hidrológica
Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Iztapalapa



Abstract

Otis, a devastating hurricane that no one seems to have seen coming, which, in 24 hours, went from tropical storm to hurricane. It was only 90 km from the coast when its terrible danger was mentioned in the warning bulletins. How can such a scenario be explained?

Hurricane Otis surprised by its unprecedented intensity, reaching the maximum category. At noon on Tuesday, October 24, 2023, Otis was still only a tropical storm. Strong winds were blowing off the coast of Mexico, with gusts of just over 100 km/h. At first glance, nothing to worry about. But that changed overnight. As it approached the coast, Otis did not weaken, but rather increased in strength. Unexpectedly, it impacted Acapulco with winds of over 265 km/h. The intensity of this hurricane is related to the temperature of the Pacific Ocean, particularly along the coasts of Acapulco, in the State of Guerrero. The reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) are fundamental to analyze this extreme hydrometeorological event and its relationship with climate change.

Keywords: Hurricane Otis, Climate Change, Tropical Cyclones

Resumen

Otis, un huracán devastador que nadie parece haber visto venir, que, en 24 horas, pasó de tormenta tropical a huracán. Otis estaba a sólo 90 km de la costa cuando se mencionó su terrible peligro en los boletines de alerta. ¿Cómo se puede explicar un escenario así?

El huracán Otis sorprendió por su intensidad sin precedentes, alcanzando la máxima categoría. Al mediodía del martes 24

de octubre de 2023, Otis seguía siendo sólo una tormenta tropical. Soplaban fuertes vientos frente a las costas de México, registrándose rachas de algo más de 100 km/h. A primera vista, nada de qué preocuparse. Pero esto cambió de la noche a la mañana. A medida que se acercaba a la costa, Otis no se debilitó, sino que aumentó su fuerza. Inesperadamente, impactó Acapulco con vientos de más de 265 km/h. La intensidad de este huracán está relacionada con la temperatura del océano Pacífico, particularmente, en las costas de Acapulco, en el Estado de Guerrero. Los informes del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) son fundamentales para analizar este evento hidrometeorológico extremo y su relación con el cambio climático.

Palabras Claves: Huracán Otis, Cambio Climático, Ciclones Tropicales

1. Motivación

Cada año se forman alrededor de 80 tormentas tropicales o ciclones en aguas tropicales de todo el mundo. Existe un incremento de las referencias a los efectos sobre la salud en las contribuciones de los países para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París, incrementándose en segundo lugar, las referencias sobre el riesgo para la salud por lesiones y mortalidad por fenómenos meteorológicos extremos (OMS, 2023). Normalmente una tormenta tropical no se vuelve un huracán de categoría 5 en un periodo menor a un día. En México sólo existe el precedente del huracán Patricia, cuya intensidad aumentó en un periodo aproximado de 24 horas y al que se considera como el ciclón tropical más intenso del que se tiene registro en el hemisferio occidental. Por la mañana del martes del 24 de octubre de 2023, pocos especialistas

en el tema hablaban sobre la tormenta tropical Otis. Por la mañana del miércoles del 25 de octubre de 2023, Otis había crecido tanto que impactó como un huracán de categoría 5 en Acapulco, Guerrero, y en las localidades de la línea costera aledaña, entre ellas, Coyuca de Benítez, Guerrero.

De acuerdo con el Centro Nacional de Huracanes de EUA (*National Hurricane Center NHC*), que asumió la responsabilidad de monitoreo del Pacífico Este desde 1988, Otis es el huracán más potente que ha tocado tierra, produciendo daños catastróficos. Otis causó al menos 52 víctimas mortales y daños totales estimados entre 12,000 y 16,000 millones de dólares, lo que lo convierte en el ciclón tropical más costoso registrado en México y en una de las catástrofes naturales más caras de la historia de México.

Los sucesivos informes del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) documentan cada vez más la complejidad de los cambios que podrían producirse en el futuro en el desarrollo y el ciclo de vida de los ciclones tropicales. Sin embargo, es muy difícil simular los ciclones bajo el impacto del cambio climático. Los modelos que simulan este último a escala mundial tienen dificultades para representar con precisión estos fenómenos. Los constantes avances en la investigación sobre la resolución de los modelos, es decir, sobre la escala espacial más pequeña representada en ellos, permitirán afinar las simulaciones en un futuro próximo.

2. ¿Qué es un huracán?

Un huracán es una perturbación atmosférica violenta que se forma en las regiones tropicales. Es un fenómeno de torbellino o vórtice y la presión en su centro es muy baja. En el hemisferio sur, los ciclones gi-

ran en el sentido de las agujas del reloj, y en el hemisferio norte giran en sentido contrario. Un huracán tiene cierta simetría y una extensión de entre 500 y 1000 km.

El ojo del huracán es su centro y es una zona de calma, seca y poco ventilada, su diámetro suele oscilar entre los 30 y 60 km, e incluso, en algunas ocasiones puede alcanzar los 150 km.

La pared del huracán es un muro formado por nubes *cumulonimbos* que rodea su ojo. El *cumulonimbo* es una verdadera fábrica termodinámica que se alimenta de aire caliente y húmedo para proporcionar la energía necesaria para su movimiento ascendente, su cima choca con la estratosfera y se extiende en forma de “penacho”, puede alcanzar una altitud de 12 a 15 km y un ancho de entre 5 y 15 km. En la Figura 1 se muestra el corte vertical de un huracán del hemisferio norte, el cual produce los efectos más devastadores: los vientos soplando hasta 300 km/h y lluvias torrenciales.

Un huracán también recibe el nombre de ciclón o tifón según la cuenca ciclónica en la que se produce. Una cuenca ciclónica es una gran depresión geológica por debajo del nivel del mar en donde se originan los ciclones. El Océano Índico y el Pacífico Sur son cuencas ciclónicas en donde se usa el término ciclón o ciclón tropical; en el Atlántico Norte y el Pacífico Nororiental lo llaman huracán; y, en el Pacífico Noroccidental se utiliza el término tifón.

Los huracanes también provocan fenómenos marítimos muy peligrosos: un *largo oleaje* generado por el viento que se desplaza más rápido que el huracán, a veces se puede observar hasta 1000 km por delante del ciclón; una *sobreelevación*

anormal del nivel del mar conocida como *marea de tormenta*, que también recibe el nombre de *marejada* y es el fenómeno más mortífero asociado a los huracanes.

El huracán se desplaza a una velocidad media de entre 20 y 30 km/h, sin embargo, los vientos alrededor de su ojo pueden superar los 300 km/h, dependiendo de su categoría.

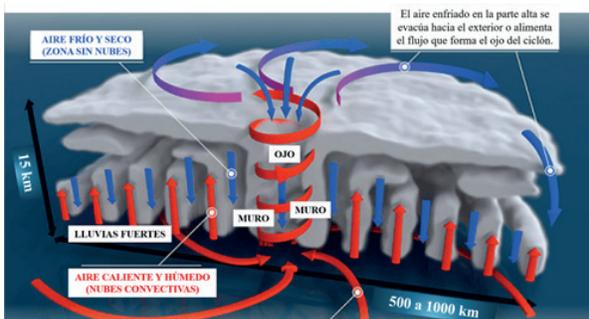


Figura 1. Corte vertical de un huracán del hemisferio norte (traducida al idioma español a partir de la imagen de Météo-France <https://meteofrance.com/comprendre-la-meteo/le-vent/les-cyclones>).

3. Categoría y alertamiento de un huracán

La categoría de un huracán se define en función de la intensidad promedio del viento medida a 10 m sobre el suelo en 1 minuto. Si el viento es inferior o igual a 63 km/h es una *depresión tropical*; superior a 63 y hasta 119 km/h es una *tormenta tropical* y el centro meteorológico responsable de la zona concerniente le atribuye un nombre; más de 119 km/h es un *huracán*.

En la Tabla 1. La escala *Saffir-Simpson* clasifica en 5 categorías a los huracanes de acuerdo a la velocidad de los vientos. Esta escala fue desarrollada por el Centro Nacional de Huracanes de EUA y se usa en las cuencas oceánicas del Atlántico Norte, el Pacífico Central y el Pacífico Oriental.

Categoría	Velocidad (km/h)
1	Entre 119 y 153
2	Entre 154 y 177
3	Entre 178 y 208
4	Entre 209 y 251
5	Mayor que 251

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) designó al Centro Nacional de Huracanes (*National Hurricane Center NHC*) de USA como Centro Meteorológico Especializado Regional para el Atlántico Norte y el Este del Pacífico, por lo que el *NCH* en Miami, Florida, es el encargado de emitir alertas a México sobre posibles tormentas tropicales o huracanes.

4. Huracán Otis

4.1 Pronóstico

La tormenta Otis comenzó a formarse como depresión tropical por la mañana del domingo 22 de octubre de 2023. Los modelos de pronóstico no estimaban grandes intensidades de los vientos. Esa mañana, el *NHC* comunicó que era posible un aumento ligero de la intensidad en los días siguientes, incluso, por la tarde del mismo domingo, los modelos continuaban sin cambios en sus estimaciones.

Para el pronóstico se utilizan modelos computacionales, además de imágenes de satélite, normas climatológicas que ayudan a estimar la velocidad de los vientos, y también aviones cazahuracanes que atraviesan el ojo de la tormenta para recabar información en tiempo real.

Considerando estas herramientas, se empezó a pronosticar una tormenta Otis más fuerte con relación a lo que se obtenía sólo con los modelos. Sin embargo, el pronóstico continuaba como tormenta tropical.

Por la tarde del lunes 23, los modelos estimaban que la tormenta podría convertirse en huracán de categoría menor, y se observó que, debido a la gran cantidad de humedad en la zona y las temperaturas cálidas del océano, la tormenta se fortalecería gradualmente.

También de las imágenes de satélite se observó que la tormenta se intensificaría rápidamente, sin embargo, los modelos no mostraban esto.

Los modelos de pronóstico estadounidense y europeo no han sido buenos para estimar la rapidez con la que se intensifican las tormentas. Aunque estas herramientas de pronóstico han mejorado, no aportan información suficiente sobre el aumento de intensidad de las tormentas, como en el caso de Otis.

Sólo para enfatizar lo mal que funcionaron los modelos de huracanes y globales para el huracán Otis, en la Figura 2 se muestran los pronósticos de intensidad del 24 de octubre de 2023, donde con la línea negra punteada se muestra la evolución que tuvo Otis y las diferentes líneas

de colores muestran lo pronosticado por diferentes modelos.



Figura 2. Previsiones de intensidad de Otis del 24 de octubre de 2023; en las abscisas se tienen los valores de los vientos en nudos (kt) ($1 \text{ kt} = 1.8 \text{ km/h}$), en las ordenadas se tienen las horas de pronóstico (traducida de Tomer Burn en Twitter).

4.2 Variables meteorológicas y fenómenos marítimos

La intensidad de los vientos de Otis fue de 265 km/h entre las 22:00 h del 24 de octubre y las 00:30 h del 25 de octubre. La presión estimada al centro del huracán fue de 922mb a las 03:00 UTC (Reinhart Brad y Reinhart Amanda, 2024). En la Fi-

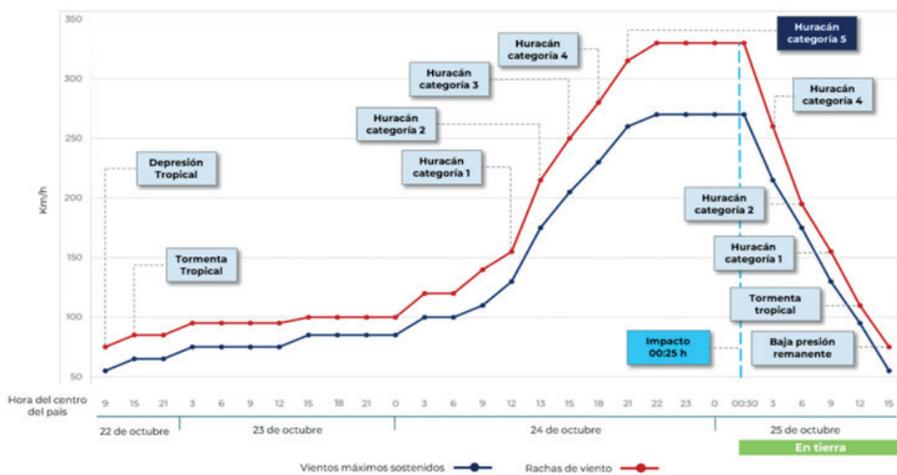


Figura 3. Evolución de los vientos asociados al huracán Otis. Imagen extraída de Conagua (2023).

gura 3 se muestra la evolución de los vientos. Las rachas de viento son mayores que los vientos máximos sostenidos, dado que las rachas son aumentos bruscos de la velocidad del viento con respecto a su valor medio, y los vientos máximos corresponde a mediciones que se mantienen sin tantas variaciones (de ahí el término sostenido). Las rachas pueden ser más peligrosas a la población debido al efecto que tienen sobre las estructuras metálicas, las ventanas, los árboles, etc.

El huracán Otis produjo una marejada ciclónica catastrófica a lo largo de partes de la costa del estado mexicano de Guerrero, cerca de donde tocó tierra. Las imágenes aéreas muestran inundaciones devastadoras en las comunidades costeras alrededor de Acapulco, y se observaron grandes daños en los puertos deportivos de la bahía de Acapulco, con barcos amontonados a lo largo de la costa. Sin embargo, se desconoce la altura máxima de inundación por marea de tempestad. Una estación de ma-

reas cercana en la Bahía de Acapulco, operada por el Servicio de Mareas de México, registró datos incompletos. Por lo tanto, no se conocen mediciones de la estación de mareas que hayan captado el pico de la marejada ciclónica.

Otis produjo fuertes precipitaciones en todo Guerrero. Gran parte del estado recibió de 50 a 100 mm de lluvia, con cantidades localmente más altas cerca y al este de la zona donde tocó tierra. En la Figura 4 se presentan las lluvias acumuladas del 24 al 25 de octubre así como la trayectoria e intensidad de Otis. En esta Figura, la escala de colores que se encuentra debajo, en el eje de las abscisas, está dada en mm de lluvia y se define como 1 litro por metro cuadrado. En Acapulco se registró un total máximo de lluvia de 266 mm. En otros lugares, 249.4 mm cayeron en El Veladero, y 220.0 mm fueron reportadas en Tierra Colorada. Estas fuertes lluvias provocaron inundaciones repentinas y fluviales, así como deslizamientos de tierra.

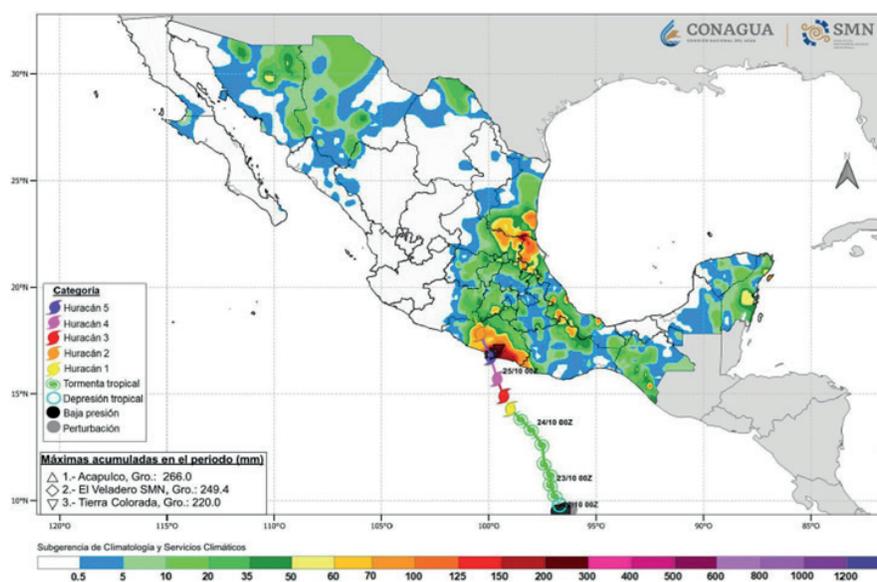


Figura 4. Lluvias acumuladas en México del 24 al 25 de octubre de 2023. La trayectoria y la intensidad se basan en la evaluación operativa del NHC. Imagen extraída de Peláez Pavón (2023).

5. Cambio climático y huracanes

5.1 El océano y la criosfera

El sol calienta al océano que desprende calor y lo transfiere a la atmósfera, y esta última lo distribuye a todo el planeta.

El océano absorbe y pierde calor más lento que las masas terrestres, así equilibra las temperaturas de la Tierra, libera calor en invierno y lo absorbe en verano.

Si el océano no regulara estas temperaturas, la Tierra sería extremadamente fría.

Las aguas marinas se están calentando, con consecuencias para las propiedades y la dinámica del océano, para sus intercambios con la atmósfera y para los hábitats de los ecosistemas marinos. Durante mucho tiempo, los debates sobre el cambio climático no han tenido en cuenta los océanos. Sin embargo, nuestra capacidad para comprender y anticipar los cambios en el clima de la Tierra depende de nuestro conocimiento detallado de los océanos y de su papel en el clima. Así lo pone de relieve el informe especial del IPCC (Pörtner et al., 2019).

5.2 Huracanes más intensos

Las simulaciones climáticas para el siglo XXI del sexto informe del IPCC (IPCC, 2023) indican que la violencia de los ciclones está aumentando como consecuencia del cambio climático. Se prevé que su intensidad media aumente un 5% y que la proporción de ciclones muy intensos (es decir, la relación entre el número de ciclones de categoría 4 y 5 y el número total de ciclones) aumente un 14%. En cuanto a las precipitaciones ciclónicas, una tendencia robusta indica un aumento de casi el 15% si se llega a un calentamiento global de 2°C. Por lo que, entre los objeti-

vos a largo plazo como guía para todos los países, del Acuerdo de París (ONU, 2015) se busca limitar el calentamiento a 1.5°C. Actualmente se tiene un calentamiento global de 1.15°C.

5.3 ¿Cómo se forman los huracanes? El Caso de Otis.

Para que se desarrolle un ciclón, las condiciones atmosféricas y oceánicas deben ser favorables. Una condición es esencial para el nacimiento y desarrollo del fenómeno: la temperatura del océano debe ser elevada en los primeros 60 metros para permitir una evaporación intensa y, por tanto, una transferencia de humedad del océano a la atmósfera.

Esta transferencia es máxima al final del verano, cuando las aguas superficiales alcanzan entre 28 y 29°C. Por ello, los ciclones no suelen formarse en el Atlántico Sur ni en el Pacífico Sureste, donde las aguas son relativamente frías. Por la misma razón, los ciclones se debilitan rápidamente a medida que se desplazan hacia el interior, donde ya no se alimentan de aguas cálidas.

En el caso del huracán Otis se tenían los elementos para su rápida intensificación: las temperaturas cálidas de la superficie del mar, de 30°C, una capa profunda de agua cálida del océano, mucha humedad y una cizalladura vertical del viento relativamente baja. La cizalladura es la diferencia de velocidad del viento entre la parte superior y la inferior de la tormenta.

En la Figura 5 se presentan las imágenes del satélite Landsat 8 antes y después de Otis.

Se observa que el paisaje en Acapulco cambia, la vegetación antes es verde y exuberante, y después se ve color marrón. Casi

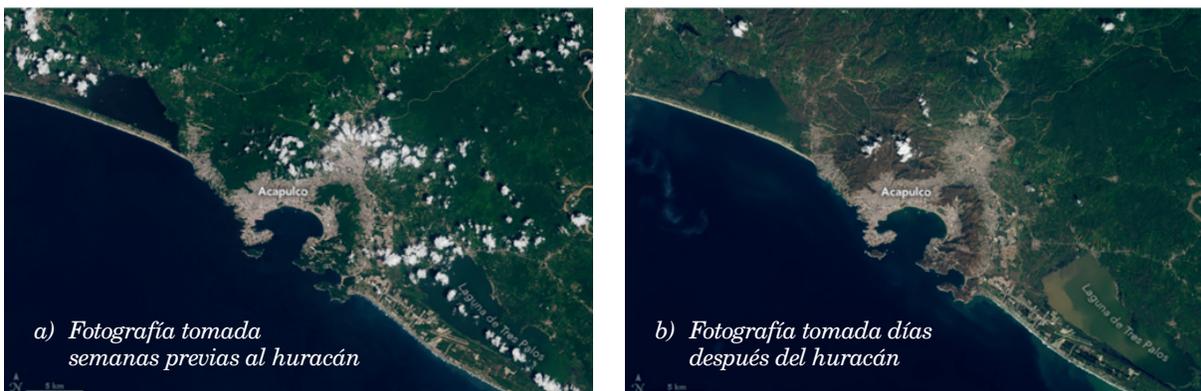


Figura 5. Imágenes del satélite Landsat 8, a) antes del huracán Otis el 21 de septiembre de 2023, y, b) después, el 31 de octubre. Tomada de <https://ciencia.nasa.gov/ciencias-terrestres/acapulco-despues-del-huracan-otis/>

una semana después de la tormenta, se puede observar en la Laguna de Tres Palos, los sedimentos arrastrados por el escurrimiento provocado por las lluvias extremas.

6. Avances en observaciones de huracanes

Se disponen de observaciones de huracanes desde finales del siglo XIX, especialmente sobre el Atlántico. Dado que estos fenómenos se originan sobre los océanos, podían pasar desapercibidos antes de la llegada de los satélites. Desde los años 70, la creación de una amplia red de satélites que escudriñan constantemente la Tierra ha permitido constituir una base de datos homogénea y precisa. Gracias a estas observaciones por satélite, se han podido identificar tendencias fiables en la actividad ciclónica desde 1970 hasta nuestros días. Dos tendencias llamativas son el aumento de la proporción de ciclones muy intensos y la extensión de la zona de actividad ciclónica hacia los polos. Con esto se esperaría que, hacia la segunda mitad del siglo XXI, la actividad ciclónica se desplazará hacia el norte, con lo que el Mar Caribe y el Golfo de México serán más tranquilos, en detrimento de la costa este de *EUA*.

En el Atlántico Norte, en particular, la actividad ciclónica varía de forma natural según ciclos que duran varias décadas y están vinculados a anomalías de la temperatura de la superficie oceánica.

7. Conclusiones

Los informes del IPCC reportan que ante el incremento de la temperatura de los océanos, la violencia de los ciclones aumentará como consecuencia del cambio climático. En ese sentido, el huracán Otis sorprendió por el incremento de su intensidad a medida que se acercaba a la costa, alcanzando la categoría 5 con vientos de más de 265 km/h. En la madrugada del 25 de octubre de 2023, en las costas de Acapulco, en el Estado de Guerrero, el huracán Otis se encontró con las aguas cálidas del Océano Pacífico. La temperatura de las aguas superficiales del océano permitió una evaporación intensa y, por tanto, una transferencia de su humedad a la atmósfera. Otis tuvo los elementos para su rápida intensificación: las temperaturas cálidas de la superficie del mar, de 30°C, una capa profunda de agua cálida del océano y mucha humedad. Los modelos computacionales de pronóstico de huracanes no funcio-

naron en el caso de Otis, no previeron que una tormenta tropical pasara en 12 horas a huracán de categoría 5. La capacidad para comprender y anticipar los cambios en el clima de la Tierra depende de nuestro conocimiento detallado de los océanos y de su papel en el clima.

Referencias

Peláez Pavón L. B. Huracán Otis del Océano Pacífico. Presentación *PowerPoint*. Ciclones tropicales 2023, Servicio Meteorológico Nacional, Conagua, 2023

IPCC. Climate Change 2023, Synthesis Report, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023.

OMS. 2023 WHO Review of Health in Nationally Determined Contributions and Long-term Strategies: Health at the Heart of the Paris Agreement; OMS: Gi-

nebra, 2023, pág.10. <https://iris.who.int/handle/10665/372276>.

ONU. Acuerdo de París, 2015, Artículo 2, pág 3. https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/spanish_paris_agreement.pdf

Pörtner, H., Roberts, D. C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., Weywe, N. M. El Océano y la Criosfera en un Clima Cambiante. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC. 2019.

Reinhart Brad J. y Reinhart Amanda. Hurricane Otis, National Hurricane Center Tropical Cyclone Report, EP182023, April 2024. https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/EP182023_Otis.pdf