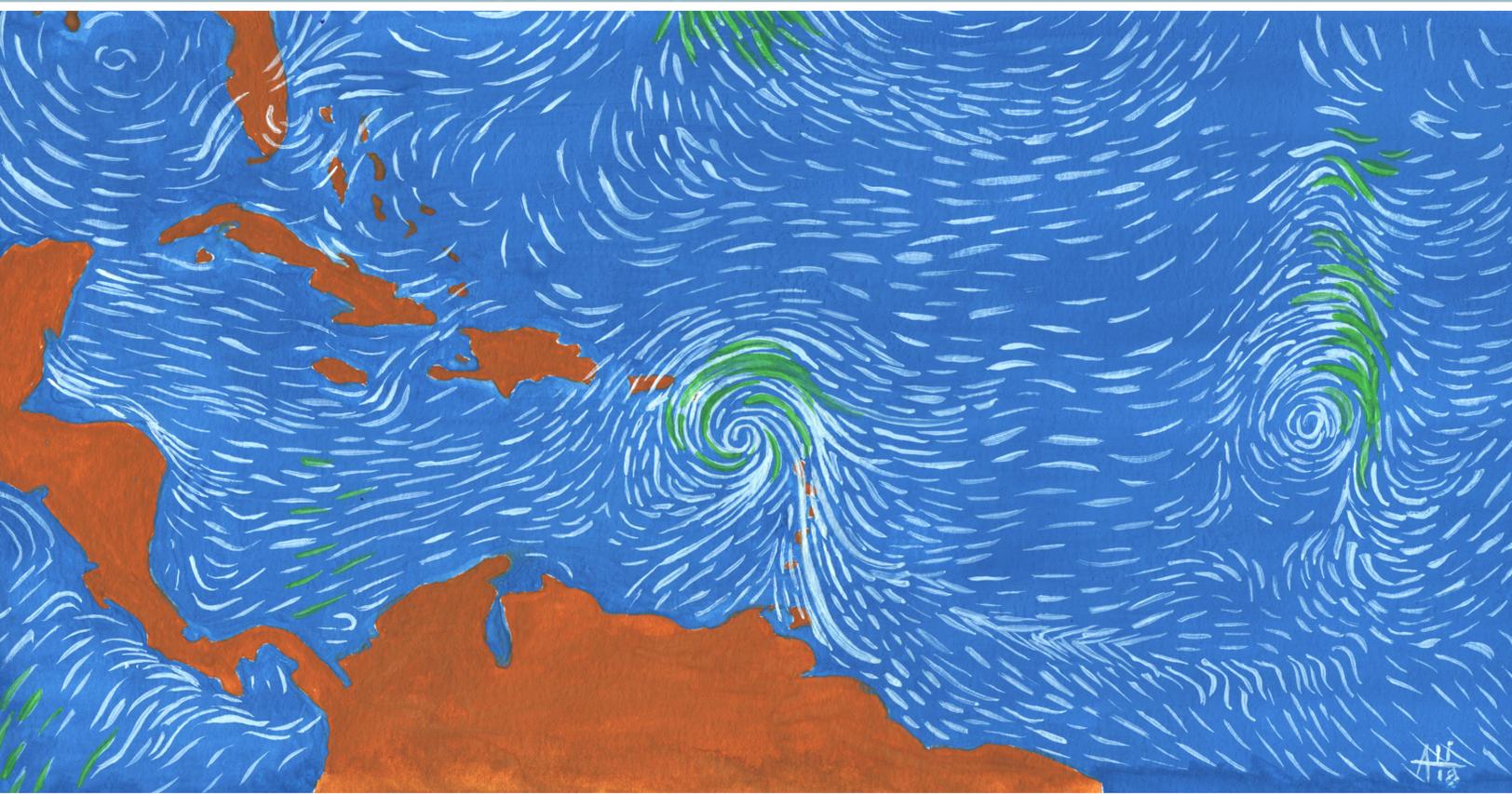


# Cartilla de los ciclones



Abimael Castro Rivera y Tania del Mar López Marrero



# Cartilla de los ciclones

Abimael Castro Rivera y Tania del Mar López Marrero

# Cartilla de los ciclones

© 2018: Abimael Castro Rivera y Tania del Mar López Marrero

Revisión: Lillian Ramírez Durand y Ruperto Chaparro Serrano

Edición de texto: Mariana González González y Cynthia Maldonado Arroyo

Ilustraciones de interior: Isabel A. Escalera García y Cynthia L. Gotay Colón

Ilustración de cubierta: Isabel A. Escalera García

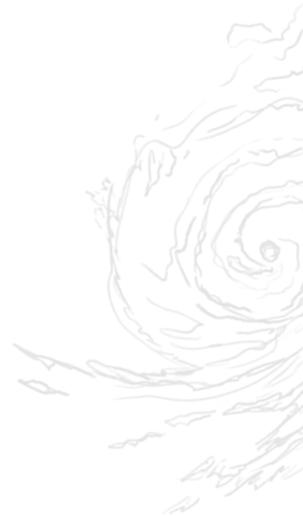
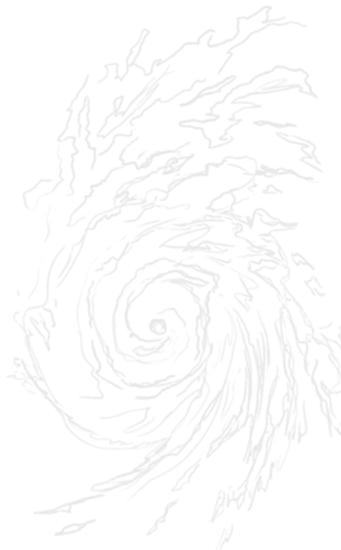
Fotografías: Abimael Castro Rivera, Ruperto Chaparro Serrano, Javier Rivera, Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA, por sus siglas en inglés)

Diseño de cubierta y maquetación: Cynthia L. Gotay Colón

Impreso por Imprenta del Programa Sea Grant

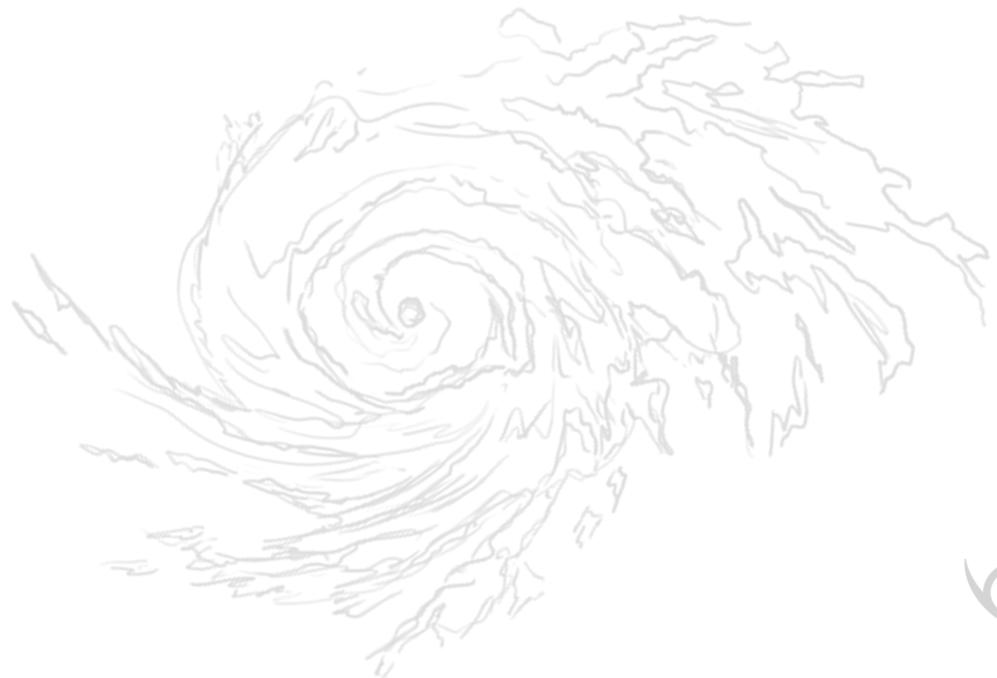
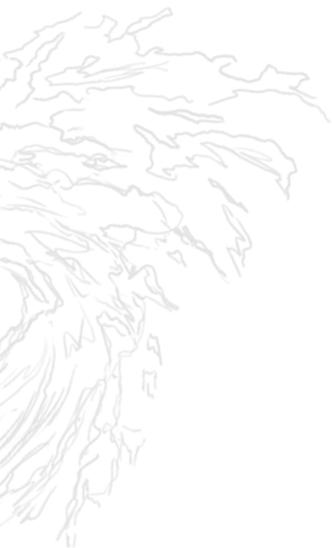
Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez

ISBN: 978-1-881719-76-2



# Contenido

|   |    |
|---|----|
| Introducción .....  | 7  |
| Fenómenos atmosféricos y ciclones: conceptos básicos .....            | 8  |
| Desarrollo de sistemas ciclónicos .....                               | 11 |
| Formación y estructura de huracanes .....                             | 14 |
| Condiciones meteorológicas de ciclones .....                          | 17 |
| Medidas de intensidad de ciclones .....                               | 19 |
| Distribución geográfico-temporal de ciclones .....                    | 21 |
| Asignación de nombres a tormentas y huracanes .....                   | 24 |
| Mecanismos de alerta de sistemas ciclónicos .....                     | 26 |
| Ciclones y sus impactos .....   | 32 |
| Unidades de conversión comúnmente utilizadas en la meteorología ..... | 36 |
| Referencias .....   | 37 |
| Sobre esta publicación .....  | 39 |





# Introducción



Los ciclones, que incluyen a las depresiones, las tormentas tropicales y los huracanes, constituyen una amenaza para las personas y los ecosistemas en diferentes partes del mundo. Anualmente, los ciclones impactan territorios en diferentes regiones, causando daños, pérdidas y la interrupción de las actividades diarias. En dichos casos, la amenaza natural se convierte en un desastre, y la magnitud del desastre depende de la vulnerabilidad del sistema impactado y el riesgo al que está expuesto.

La localización geográfica de muchos lugares los exponen a amenazas ciclónicas y a los peligros asociados a estos, como: inundaciones, marejadas ciclónicas, trombas marinas, tornados, deslizamientos de terreno, erosión costera, entre otros. Algunas proyecciones asociadas al calentamiento global apuntan al aumento de sistemas ciclónicos intensos, y consecuentemente, a un aumento en los peligros asociados y sus impactos. En la temporada ciclónica del 2017 del Atlántico, precisamente, vimos el poder destructivo y los daños y las pérdidas ocasionadas por el paso de dos huracanes de gran intensidad: los huracanes Irma y María.

Conocer sobre estos fenómenos atmosféricos, y sus diferentes impactos, es importante para una mejor preparación ante su posible impacto y para un mejor manejo durante sus diferentes fases. Así pues, el propósito de esta cartilla es proveer un documento de referencia a las personas sobre los ciclones, incluyendo, entre otros: conceptos y términos básicos asociados a dichos sistemas y temas relacionados a su formación, naturaleza, estructura, condiciones meteorológicas, medidas de intensidad, sistema de asignación de nombres, mecanismos de alertas, impactos y peligros asociados.

La cartilla está dividida en nueve secciones que incluyen desde conceptos básicos relacionados a fenómenos atmosféricos y ciclónicos hasta los impactos relacionados a dichos fenómenos. Está escrita en formato de preguntas y respuestas, al igual que otras cartillas que se han publicado en Puerto Rico para el conocimiento y manejo de recursos naturales: la “Cartilla del agua para Puerto Rico” (Lugo y otros, 2011) y la “Cartilla de la zona marítimo-terrestre” (Lugo y otros, 2004). Como en esas cartillas, en la “Cartilla de los ciclones” presentamos términos y procesos técnicos asociados a los ciclones —como los que se mencionan en los noticieros, periódicos y documentos de agencias gubernamentales pertinentes— de manera sencilla; esta es de utilidad para la población en general para un mejor entendimiento y manejo ante dichos sistemas. Cuando consideramos necesario, proveemos la traducción de términos técnicos en inglés.

En el caso de la “Cartilla de los ciclones”, sin embargo, redactamos el contenido de una manera general, y no específica para el caso de Puerto Rico. Por ende, hacemos uso del término más general, ciclón, en lugar de tormenta o huracán, que es lo más escuchado entre nuestra población. Así, la cartilla es un documento de utilidad para cualquier persona que esté expuesta a dichos sistemas atmosféricos en diferentes partes del mundo. Para el caso específico de la actividad ciclónica en Puerto Rico, hemos generado diferentes publicaciones que puede encontrar y descargar en la página electrónica del “Proyecto 1867: Desastres y memoria en Puerto Rico” ([www.proyecto1867.com](http://www.proyecto1867.com)).

# Fenómenos atmosféricos y ciclones: conceptos básicos

## ¿Qué es un ciclón?

Un ciclón es un fenómeno atmosférico de baja presión, cuyos vientos inician en 34 millas por hora (mph) y el cual tiene una circulación definida, cerrada y con tronadas. Su actividad nubosa es organizada y está acompañada de abundante precipitación y vientos fuertes. El término ciclón proviene de la palabra griega *kyklon*, que implica círculo en movimiento. Se utiliza como un concepto general, e incluye las depresiones, las tormentas y los huracanes.

## ¿Qué es la presión atmosférica?

La presión atmosférica es la fuerza que ejerce el peso del aire sobre la superficie terrestre. La presión se mide con un instrumento llamado barómetro y disminuye en función de la altura.

## ¿Qué es una baja presión atmosférica?

Es una zona donde la presión atmosférica es más baja que la del aire circundante; en la misma, la presión de aire es menor o igual a 1013 milibares (mb). Está asociada a tiempo inestable (mal tiempo, húmedo/lluvioso) (Fig. 1).

## ¿Qué es una alta presión atmosférica?

Es una zona con presión atmosférica de más de 1013 mb. Está asociada a condiciones de tiempo estable (buen tiempo). Las condiciones meteorológicas favorables que le caracterizan, y su dirección de rotación (a favor de las manecillas del reloj en el hemisferio norte), son las razones por las cuales se les conoce como anticiclones (Fig. 1).

## ¿En qué resulta un cambio de presión atmosférica de un lugar a otro?

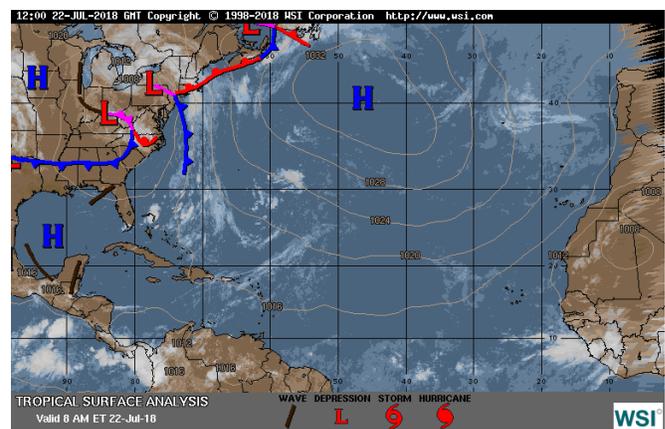
Cambios en presiones atmosféricas producen el movimiento del aire de un lugar a otro, lo que a su vez genera viento. Mientras mayor es la diferencia entre la presión atmosférica entre



dos lugares, más fuertes son los vientos que se producirán.

## ¿Qué es un ciclón tropical?

Un ciclón tropical es una tormenta que se forma en las latitudes tropicales (entre las latitudes 23.5 °N y 23.5 °S). Su fuente principal de energía proviene de las altas temperaturas del océano.



Fuente: Intellicast

**Figura 1.** Imagen de análisis de tiempo en superficie y simbología asociada. La misma despliega diferentes fenómenos atmosféricos en un momento y lugar determinado. En el caso de las presiones atmosféricas, las zonas de altas presiones están identificadas con la letra H (*High pressure*), mientras que las bajas presiones se identifican con la letra L (*Low pressure*). Las líneas son isobaras (líneas que conectan puntos de lugares que tienen la misma medida de presión atmosférica) y los números sobre ellas representan la presión barométrica de la zona. A mayor presión, mejores son las condiciones del tiempo. Este es un ejemplo del tipo de imagen que se presenta en los informes meteorológicos en distintos medios de comunicación.

## ¿Cuáles son los diferentes tipos de ciclones tropicales?

Los ciclones tropicales se clasifican en tres categorías principales, dependiendo de la intensidad de sus vientos máximos:

- **depresión tropical:** Ciclón cuyos vientos máximos oscilan entre 34 y 38 mph (55 y 62 kmph). Es la primera fase de un ciclón tropical y se clasifica de acuerdo con el número de sistemas que se van desarrollando durante una temporada ciclónica (por ejemplo, “Depresión tropical #1”, si es la primera depresión que se desarrolla en una temporada).
- **tormenta tropical:** Ciclón cuyos vientos oscilan entre 39 y 73 mph (63 y 118 kmph). Es en esta etapa cuando se le otorga al fenómeno un nombre propio.
- **huracán:** Ciclón que alcanza vientos de 74 mph o más (> 119 kmph).

## ¿Todos los ciclones son tropicales?

No, hay ciclones extratropicales, subtropicales y posttropicales.

## ¿Qué es un ciclón extratropical?

Un ciclón extratropical es un sistema de baja presión atmosférica que en algún momento fue un ciclón tropical, pero perdió sus características tropicales. A diferencia de un ciclón tropical, este tipo de ciclón tiene un desplazamiento rápido a través de latitudes medias (latitudes 30° a 60°) en los hemisferios norte y sur. Su fuente de energía es producto de la liberación de calor y contrastes en temperaturas del ambiente que le rodea.

## ¿La transición de un ciclón tropical a uno extratropical resulta en un debilitamiento del sistema?

No necesariamente. Un ciclón tropical puede convertirse en un sistema extratropical sin que resulte en pérdida de intensidad.

## ¿Qué es un ciclón subtropical?

Un ciclón subtropical es un sistema de baja presión atmosférica de pobre organización

que obtiene su energía solamente a partir de contrastes en temperaturas del ambiente que le rodea. Su centro es frío, por lo que su origen suele ser una vaguada o frente frío.

## ¿Qué es un ciclón posttropical?

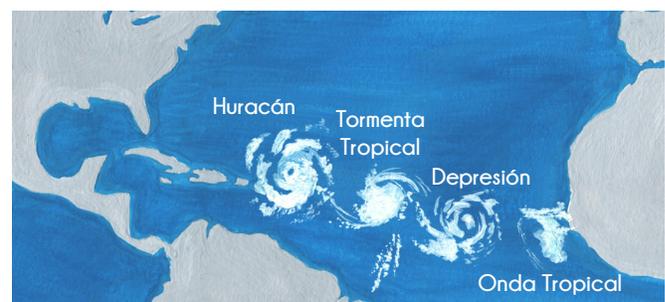
Un ciclón posttropical es un sistema de baja presión atmosférica que en algún momento tuvo características de un ciclón tropical, pero que luego carece de organización y de una circulación definida.

## ¿Puede un ciclón posttropical perder su intensidad?

No. Este puede conservar su intensidad, sobre todo la intensidad de sus vientos, aun cuando el sistema pierda organización.

## ¿A partir de cuáles fenómenos atmosféricos se originan los ciclones?

- Los ciclones tropicales se originan a raíz de las ondas tropicales (Fig. 2).
- Los ciclones extratropicales pueden tener origen tanto de ondas como de los otros dos tipos de fenómenos; esto es, vaguadas y de sistemas de bajas presiones invernales (frentes fríos).
- Los ciclones subtropicales surgen principalmente de vaguadas o de sistemas de frentes fríos.



Adaptado de: Atlantic Oceanographic & Meteorological Laboratory, NOAA

**Figura 2.** Desarrollo de una onda tropical desde su origen en la costa oeste del continente africano hasta un huracán en la región del Caribe.

## ¿Qué es una onda tropical?

Una onda tropical es un sistema de baja presión cuya estructura es alargada y tiene

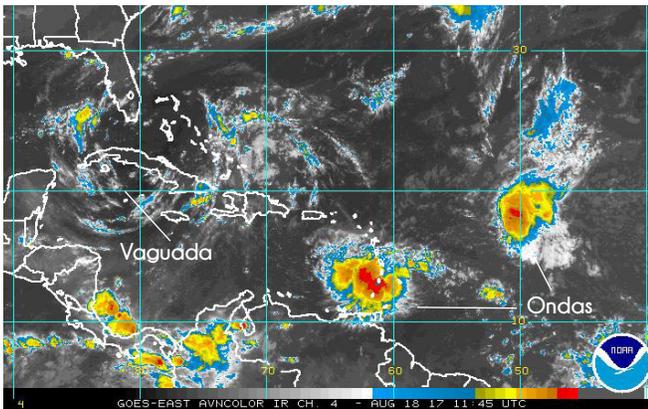
un movimiento principalmente hacia el oeste. Tiene actividad nubosa desorganizada; por lo tanto, no se considera un ciclón (Fig. 3).

### ¿Dónde y cuándo se originan las ondas tropicales?

Las ondas tropicales se originan en, o cercano a, el continente africano. Estas se forman en periodos recurrentes de 3 a 4 días, comenzando a finales de abril o a principios de mayo y culminando a finales de octubre o inicios de noviembre.

### ¿Qué es una vaguada?

Una vaguada es un fenómeno atmosférico de masas de aire cálido y húmedo, de forma alargada, que dan paso al desarrollo de nubosidad alta y precipitaciones. Típicamente se ubican entre dos áreas de altas presiones (Fig. 3).



Fuente: NOAA

**Figura 3.** Ondas tropicales y vaguada según vistas en una imagen de satélite infrarrojo. Típicamente, las vaguadas se identifican por su forma característica en “u”.

### ¿Qué es un frente frío?

Un frente frío es un sistema atmosférico compuesto de una zona de inestabilidad que resulta por la aproximación de una masa de aire cálida y otra más fría. Suele estar acompañado de fuertes precipitaciones y vientos, seguidos de una zona de aire fresco y seco.

### ¿Qué es un fenómeno de baja presión remanente?

Un fenómeno remanente es un sistema de baja presión atmosférica que ha perdido su energía.

Tiene vientos menores de 30 mph y carece de organización. Consecuentemente estos sistemas no se consideran ciclones.

### ¿Qué es el movimiento de rotación de un ciclón?

Es el movimiento circulatorio de un sistema ciclónico.

### ¿Cómo es el movimiento de rotación de los ciclones en los hemisferios norte y sur?

Los ciclones giran hacia la derecha (en contra de las manecillas del reloj) en el hemisferio norte y hacia la izquierda (a favor de las manecillas del reloj) en el sur.

### ¿Qué produce el movimiento de rotación de un ciclón?

El movimiento de rotación de un ciclón es producido por el efecto de Coriolis.

### ¿Qué es el efecto de Coriolis?

Es una fuerza aparente que desvía la trayectoria de los objetos que se desplazan y rotan sobre la superficie terrestre. En el caso de los vientos, tiene un efecto en su dirección de movimiento; los mueve hacia la derecha o hacia la izquierda, dependiendo del hemisferio en el cual esté localizado. Este se genera a raíz de la rotación de la Tierra. Fue descrita por el matemático francés Gaspard-Gustave de Coriolis en el año 1835.

### ¿Qué es el movimiento de traslación de un ciclón?

El movimiento de traslación de un ciclón hace referencia al desplazamiento del ciclón. Provee, además, información sobre la dirección y la velocidad a la cual se mueve el sistema.

### ¿Existe una relación entre la dirección y la velocidad a la cual se desplaza un ciclón?

Típicamente, ciclones con movimiento hacia el oeste suelen ser más rápidos, mientras que una ruta más hacia el norte puede resultar en un desplazamiento más lento.

# Desarrollo de sistemas ciclónicos



## ¿Cuáles son las condiciones que favorecen el desarrollo de un ciclón?

Para que se desarrolle un ciclón, proceso conocido como ciclogénesis, deben darse las siguientes condiciones:

- tiene que haber un sistema de baja presión atmosférica; ya sea una onda tropical, un frente frío o una vaguada.
- el sistema debe estar moviéndose sobre aguas cálidas de 81 °F (27 °C) o más.
- el sistema debe estar rodeado de una masa de aire muy húmeda que favorezca el desarrollo de nubosidad y tronadas cerca de un centro.
- el sistema debe estar sobre los 5° de distancia del ecuador (a 300 mi / 500 km) para que el efecto de Coriolis logre incidir en la baja presión y se pueda iniciar el movimiento de rotación.
- debe haber poco o ningún “viento cortante” (vientos verticales que desorganizan a un sistema) en el área para permitir su desarrollo.

## ¿Se desarrollan ciclones en el hemisferio sur?

Sí. Sin embargo, en el Océano Atlántico Sur es inusual su formación. Además, en términos comparativos, su formación es mucho menor en el hemisferio sur que en el norte.

## ¿Por qué es inusual el desarrollo de ciclones en el Atlántico Sur?

El desarrollo ciclónico es inusual debido a que no se dan las condiciones favorables para el desarrollo ciclónico. Esto, dado a la presencia de fuertes vientos cortantes, la ausencia de aires cálidos y húmedos (que, por lo tanto, no fomentan el proceso de convergencia) y una temperatura del océano relativamente menor.

## ¿Se han reportado casos de ciclones en el Atlántico Sur?

Sí. En 1991 una tormenta logró desplazarse sobre

el Atlántico Sur proveniente desde el océano Índico. Sin embargo, fue el ciclón Catarina el primero en desarrollarse propiamente en esa región. Este ha sido el único con la fuerza de huracán (categoría 2) en dicha área. Catarina impactó a Brasil, en el 2004, en el estado sureño Santa Catarina; por esta razón, se le bautizó con dicho nombre.

## ¿Qué factores pueden limitar la formación de un ciclón?

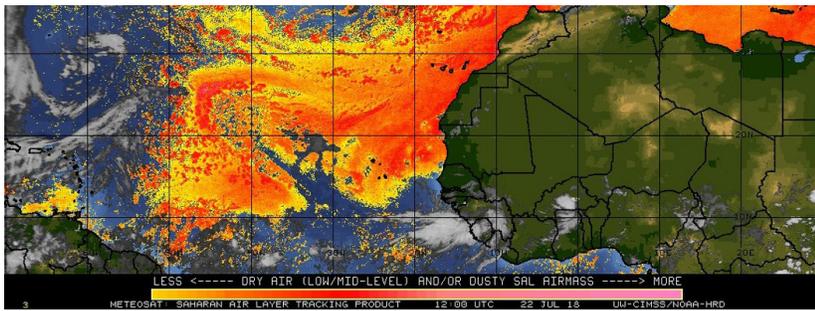
La presencia de fuertes vientos cortantes, aire seco, temperaturas del océano menor de 81 °F (27 °C), y la presencia de polvo del Sahara son factores que pueden limitar el desarrollo de ciclones.

## ¿Qué es y cómo afecta el polvo del Sahara a la formación de ciclones?

El polvo del Sahara es un conjunto de partículas que forman una masa de aire extremadamente seca proveniente del desierto del Sahara. A dicha masa de aire también se le conoce como la capa de aire sahariano (*Saharan Air Layer*; SAL por sus siglas en inglés). La masa de aire seco puede debilitar a los ciclones al suprimir las corrientes de aire ascendente del mismo. Los vientos que transportan el polvo del Sahara también cambian el ambiente circundante al ciclón, minimizando la fuente de humedad que favorece su desarrollo.

## ¿Cuándo ocurren los episodios de polvo del Sahara?

Los episodios de polvo de Sahara pueden ocurrir desde principios de marzo hasta finales de octubre. El pico de ocurrencia de estos eventos es de junio a septiembre. Los vientos son capaces de transportar algunas de estas partículas hasta Estados Unidos e incluso hasta el Pacífico (Fig. 4).



**Figura 4.** Imagen de aerosol que registra el material particulado proveniente del desierto del Sahara en África a través del océano Atlántico y la región del Caribe.

Fuente: Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, University of Wisconsin

### ¿Qué es la “danza de Fujiwhara”?

La “danza de Fujiwhara” o “danza de la muerte”, conocida en inglés como el “*Fujiwhara effect*”, hace referencia a la situación donde dos ciclones cercanos (a menos de 680 millas entre sí) giran ciclónicamente uno respecto al otro. Esta fue descrita por el meteorólogo japonés Sakuhei Fujiwhara en 1921.

### ¿Qué ocurre durante la “danza de Fujiwhara”?

La circulación más dominante succiona a la más débil, consolidándose como un solo sistema de rotación atmosférica. Esto resultará en un sistema más amplio, mas no necesariamente en uno más intenso. Este efecto ocurre con mayor frecuencia en la cuenca del Pacífico.

### ¿Qué es la Oscilación del Sur–El Niño?

La Oscilación del Sur–El Niño —conocido simplemente como El Niño o ENSO, por sus siglas en inglés (*El Niño–Southern Oscillation*)— es un fenómeno cíclico que se caracteriza por un cambio en las corrientes oceánicas del Pacífico ecuatorial. Este conlleva a su vez cambios en las temperaturas de la superficie del océano, en los vientos y en los patrones de lluvia.

### ¿Cuáles son las fases del ENSO?

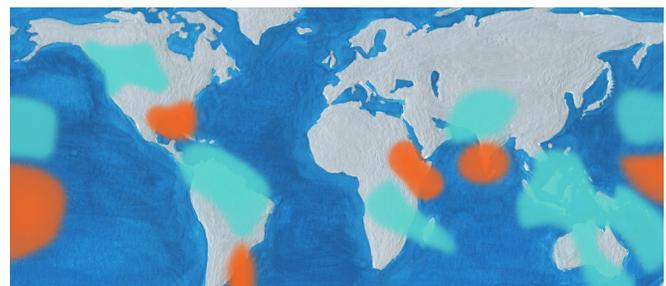
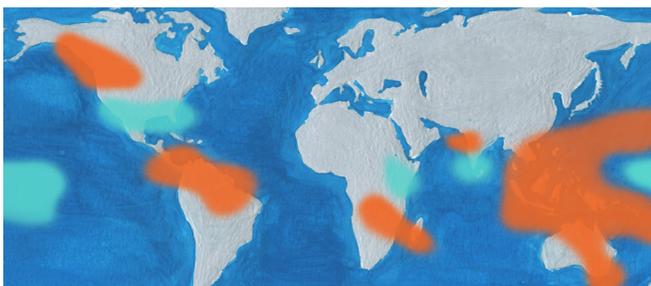
- Fase caliente o fase positiva: Conocida como El Niño, es cuando normalmente los vientos alisios mueven el agua de la superficie del océano desde el Pacífico tropical este hacia el Pacífico occidental. Esto crea una corriente ascendente de agua fría en las costas de Perú y Chile. El Niño ocurre, por lo general, en periodos de 3 a 7 años.
- Fase fría o fase negativa: Conocida como La Niña, es cuando los vientos alisios en el este y centro del Pacífico son más fuertes de lo usual y las aguas se tornan más frías en la región ecuatorial.

### ¿Qué ocurre cuando no hay eventos de El Niño o de La Niña?

En dicho caso, no se observan cambios abruptos en temperaturas y vientos; es decir, predominan las condiciones climatológicas usuales a través de las cuencas. A esto se le conoce como una “fase neutral”.

### ¿ENSO afecta solamente al Pacífico?

No, todos estos cambios inciden en los patrones meteorológicos a través del mundo (Fig. 5).



Adaptado de: Intellicast

**Figura 5.** Ejemplo de condiciones climatológicas predominantes bajos los efectos de El Niño y La Niña en diferentes partes del mundo. Las regiones identificadas en azul tienden a ser relativamente más húmedas y frías, mientras que las de color anaranjado suelen ser más secas y cálidas.

### **¿Cómo afecta El Niño a la formación de ciclones?**

Una fase caliente o positiva favorecerá el desarrollo de un mayor número de ciclones en la cuenca del Pacífico, debido a las altas temperaturas del océano en esa cuenca y a los pocos vientos cortantes en la zona de formación de bajas presiones. En la cuenca del Atlántico, por el contrario, la ocurrencia de El Niño se relaciona con una menor actividad ciclónica dado al aumento en los vientos alisios del oeste (vientos cortantes) y a menor humedad; ambas condiciones limitan la formación de nubosidad y, por ende, de ciclones. El que en una temporada se manifieste el fenómeno de El Niño, no implica que no se puedan desarrollar huracanes intensos en la cuenca del Atlántico.

### **¿Cómo afecta La Niña a la formación de ciclones?**

Una fase negativa o fría resultará en menor actividad ciclónica en el Pacífico ecuatorial debido a la ocurrencia de temperaturas más frías y al aumento en los vientos cortantes en esa región. La formación de bajas presiones, además, se suscitará más al oeste de lo normal, generando tiempo seco en regiones ecuatoriales. Por otro lado, se suscitará un mayor número de ciclones en la cuenca del Atlántico tras la disminución de los vientos cortantes en esta zona y la presencia de mayor humedad.

### **¿Qué ocurre con la formación de ciclones durante una fase neutral?**

En una fase neutral el número de ciclones en las cuencas del Atlántico y del Pacífico es cerca al promedio anual.

### **¿Qué es el calentamiento global?**

El concepto calentamiento global hace referencia al aumento de la temperatura promedio global durante un periodo de al menos varias décadas.

### **¿Cómo el calentamiento global podría incidir en la formación de ciclones?**

A mayor temperatura, ocurre mayor evaporación; por tanto, los ciclones contarían con un ambiente

más húmedo para su formación. El aumento en temperatura también podría generar cambios en las corrientes oceánicas, las cuales distribuyen las temperaturas a través del planeta y delimitan el área propicia para la formación de ciclones de acuerdo a las temperaturas oceánicas.

### **¿Qué se espera en términos del calentamiento global y la formación de ciclones?**

Se espera que la cantidad de ciclones intensos sea mayor y que el periodo de ocurrencia se vea alterado (por ejemplo, la formación de ciclones fuera de temporada). Hay menos acuerdo entre la comunidad científica, sin embargo, en cuanto a que el número de ciclones sea más frecuente. Tampoco hay un consenso respecto a si estos cambios alterarán la ruta de los ciclones.

# Formación y estructura de huracanes

## ¿Qué es un huracán?

Un huracán es un ciclón que alcanza vientos de 74 mph o más (>119 kmph). Se caracteriza por tener una apertura en su centro —conocida como ojo o vórtice— intensas lluvias y vientos muy fuertes.

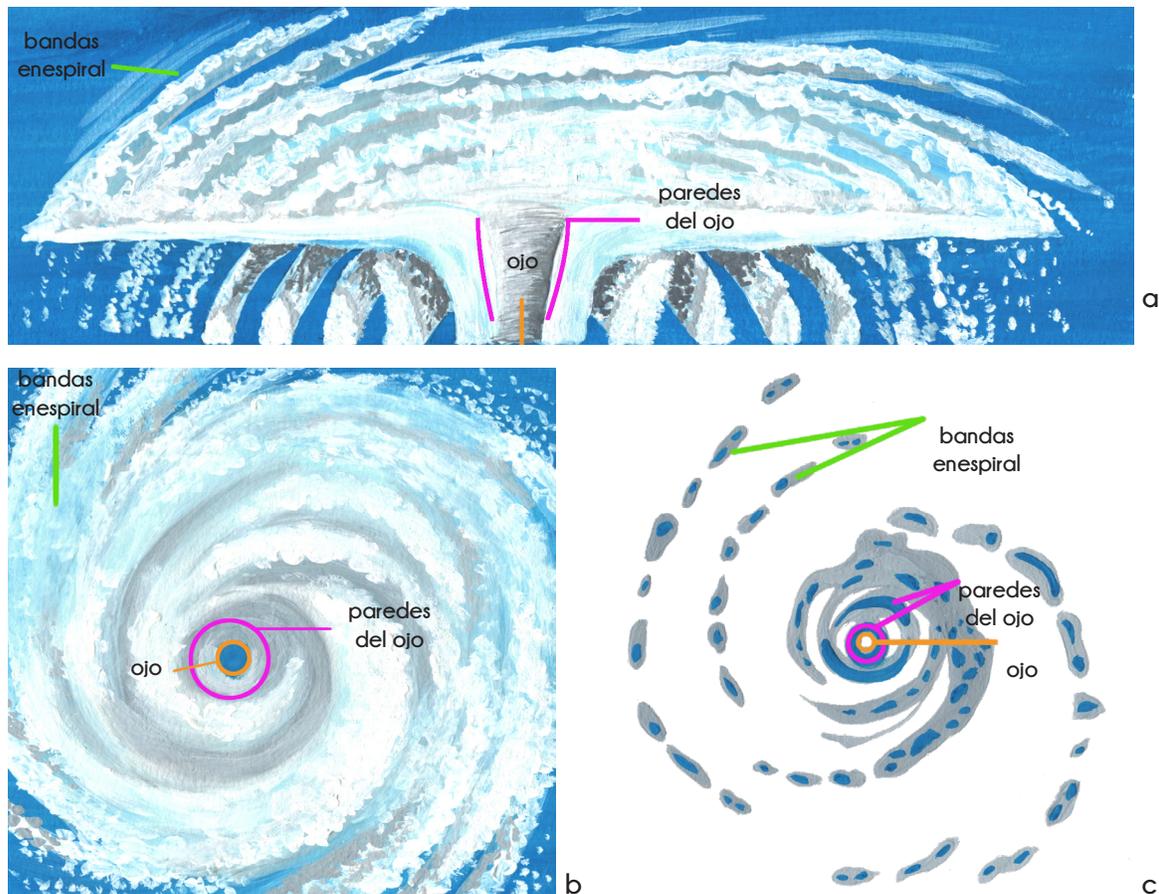
## ¿Cuál es el proceso de formación de un huracán?

Un huracán se forma cuando el aire cálido se eleva sobre el océano, causando una disminución en la presión atmosférica cerca del océano. El aire con mayor presión reemplaza la zona de

menor presión, tornándose a su vez cálido y húmedo. El aire ascendente se enfría, dando paso a la formación de nubes. El proceso se repite formando un fenómeno atmosférico; eventualmente la zona de baja presión rota y crece, cada vez más rápido, hasta desarrollar un centro (ojo).

## ¿En qué consiste la estructura de un huracán?

La estructura de un huracán se compone de un ojo, las paredes del ojo, las bandas en espiral y la “cola” (Fig. 6):



Adaptado de: Enciclopedia Británica (a) y Houze (2014) (c)

**Figura 6.** Representación de la estructura interna de un huracán en corte transversal (a), a partir de una vista superior (top view) (b) y en un radar meteorológico (c).

- ojo: Área de simetría casi circular, justo en el centro de un huracán, que se extiende desde el nivel del mar hasta la parte superior del sistema. Se le conoce también como el centro o núcleo del huracán.
- pared del ojo: Pared de nubes cargadas de intensas lluvias y vientos violentos; condiciones meteorológicas severas que rodean al ojo del huracán.
- bandas en espiral: Zonas de nubosidad y lluvia que acompañan al huracán. Ocurren en espiral hacia el centro del ciclón, son alargadas y están orientadas paralelas al viento horizontal del sistema.
- “cola” o “rabo”: Estela de humedad en la parte posterior del huracán que puede generar abundante precipitación, mas no vientos fuertes.

### ¿Cuándo se observa, de manera definida, el ojo de un huracán?

Por lo general, el ojo del huracán se observa claramente en huracanes intensos; esto cuándo un huracán alcanza vientos de categoría 3 o más en la escala Saffir-Simpson.

### ¿Cómo son las condiciones atmosféricas en el ojo de un huracán?

El ojo de un huracán carece de nubosidad y se observa calma.

### ¿Por qué el ojo de un huracán carece de nubosidad?

Dado a las altas temperaturas y la presencia de viento caliente en el centro del fenómeno, la humedad se evapora rápidamente y produce tiempo seco (estable).

### ¿Qué es el proceso de la reestructuración de la pared del ojo de un huracán?

La reestructuración de la pared del ojo es un proceso en el cual el huracán sufre un colapso de las paredes de su centro. Este ocurre, típicamente, en los huracanes intensos.

### ¿Qué ocurre durante el proceso de reestructuración de la pared del ojo de un huracán?

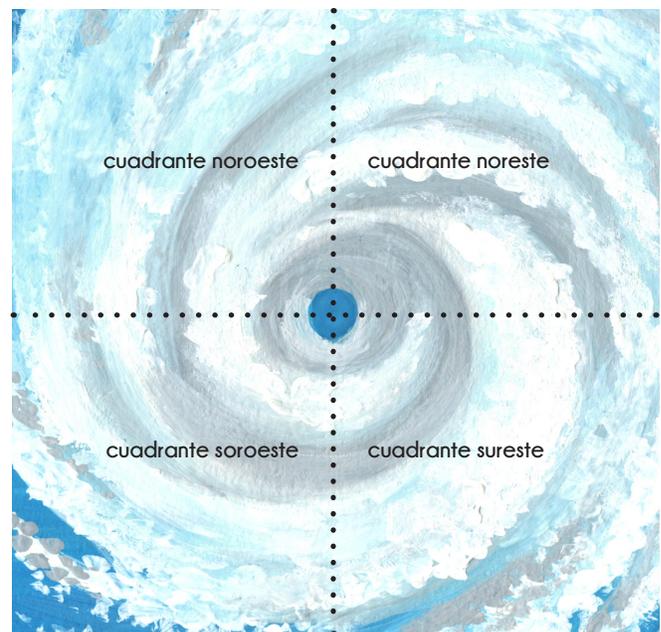
Durante este proceso, los huracanes contraen la pared del ojo y el radio de vientos disminuye a un área de 5 a 15 millas (8 a 25 kilómetros). Por otro lado, las bandas exteriores de lluvia pueden organizar un anillo de tormentas eléctricas que se mueve lentamente al interior, las cuales le restan humedad y velocidad al sistema. Cuando esto ocurre, el huracán comienza a debilitarse; los vientos máximos sostenidos disminuyen y la presión barométrica aumenta. El campo de vientos, sin embargo, podría expandirse. Este proceso no necesariamente implica que el sistema pierda toda su intensidad.

### ¿Cuándo ocurre un colapso en las paredes del ojo de un huracán, ¿se debilita hasta perder su clasificación de ciclón?

No. La pared del ojo exterior puede reemplazar a la pared interior, permitiendo que el huracán recupere la energía perdida o, inclusive, gane más fuerza.

### ¿Qué es el cuadrante de un huracán?

Un huracán se divide en cuatro áreas conocidas como cuadrantes (Fig. 7).



**Figura 7.** Cuadrantes de un huracán con respecto a una trayectoria de este a oeste.

Cada cuadrante se asocia con unas condiciones atmosféricas predominantes:

- cuadrante noreste: Típicamente se localizan los vientos más violentos de un huracán.
- cuadrante sureste: Consiste en área de lluvias torrenciales y vientos fuertes, posiblemente acompañados de tornados.
- cuadrante suroeste: Típicamente el área más débil de un huracán, pero sin restar peligrosidad.
- cuadrante noroeste: Área de lluvias y vientos fuertes.

**¿El cuadrante noreste siempre es el más intenso de un huracán?**

No, esto va a depender del hemisferio y del movimiento de traslación del sistema. En el hemisferio norte los huracanes presentan las condiciones más severas hacia el cuadrante derecho (noreste). En cambio, en el hemisferio sur, el cuadrante de vientos más fuertes está al lado izquierdo (oeste-suroeste).

# Condiciones meteorológicas de ciclones

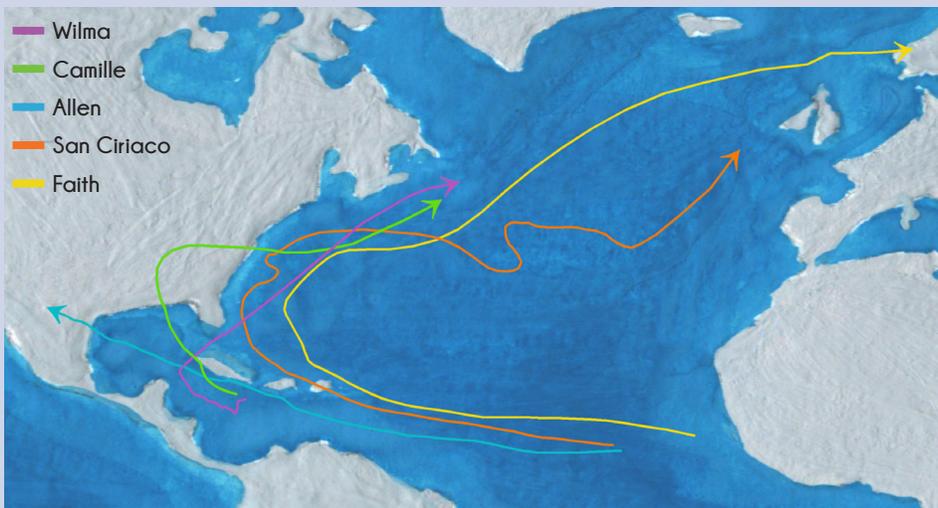
## ¿Qué condiciones meteorológicas se reportan de un ciclón?

Las características principales que se reportan son:

- presión barométrica: Unidad de presión que mide el peso de la columna de aire en un determinado lugar. La presión normal sobre el nivel del mar es 1013 mb, pero esta varía de acuerdo con la altura: a mayor altura, menor presión. Cuando la presión barométrica de un sistema va en descenso, esto implica una señal de fortalecimiento.
- vientos sostenidos: Los vientos más fuertes y con una duración de por lo menos un minuto. Estos vientos son medidos a una altura estándar de 33 pies (10 metros), con una exposición libre de obstáculos (por ejemplo, sin la presencia de edificios o de árboles). Este criterio de tiempo se utiliza solo en las cuencas del Atlántico y del Pacífico Nororiental, en el resto de las cuencas se utiliza un periodo de tiempo de por lo menos 10 minutos para clasificarlos como tal.
- ráfagas de viento: Los vientos más fuertes con una duración de menos de un minuto, por lo general con duración de segundos (3 a 5). Comúnmente, las ráfagas de viento equivalen 1.3 veces más (o son 30 % más fuerte) que 1 minuto de vientos sostenidos.
- movimiento de traslación: Medida en grados que indica hacia dónde se mueve un ciclón. Por ejemplo, un movimiento de traslación de 300° es equivalente a un desplazamiento hacia el oeste-noroeste.
- velocidad de traslación: Velocidad a la que se desplaza un ciclón.

## Características meteorológicas récords para ciclones en la cuenca del Océano Atlántico

- Huracán con la presión atmosférica más baja: **Wilma (2005)**, con una presión atmosférica de 882 milibares (26.04 pulgadas de mercurio).
- Huracán con mayor velocidad de vientos sostenidos: **Camille (1969)** y **Allen (1980)**, ambos con una velocidad reportada de 190 mph (306 km/h).
- Huracán con mayor vida ciclónica: **San Ciriaco (1899)**, con 28 días como sistema atmosférico.



- Huracán con mayor distancia recorrida: **Faith (1966)**, con una trayectoria de 7,891 millas (12,700 km), casi 5 veces la distancia promedio de recorrido para sistemas atmosféricos en la cuenca del Atlántico (1,726 mi / 2,778 km).

### **¿Cómo se recopilan las características meteorológicas de un ciclón?**

Los registros de medidas meteorológicas de un ciclón pueden tomarse mediante el uso de boyas establecidas alrededor de las cuencas, de imágenes de satélites y de vuelos de reconocimientos.

### **¿Con cuáles instrumentos se obtienen los datos más precisos?**

Dado a la distribución de las boyas y a las limitaciones en las imágenes de satélite, los datos más precisos se obtienen mediante los vuelos de reconocimiento, usando aviones especializados conocidos como “caza huracanes” (Fig. 8).

### **¿Cuándo fue el primer vuelo de reconocimiento de un avión caza huracán?**

El primer vuelo de reconocimiento se llevó a cabo en el año 1943 en las costas de Texas, a raíz de un huracán que tomó por sorpresa a la ciudad de Houston.

### **¿Qué agencia estuvo a cargo del primer vuelo de reconocimiento?**

El vuelo fue realizado por la Marina de Estados Unidos (US NAVY, por sus siglas en inglés) y las Fuerzas Armadas. Actualmente el Centro Nacional de Huracanes está a cargo de estos vuelos.

### **¿Cuál es la misión de los vuelos de reconocimiento?**

La misión de los vuelos de reconocimiento es identificar una circulación cerrada y cualquier fortalecimiento que un fenómeno atmosférico podría estar experimentando.

### **¿Ha ocurrido un accidente fatal durante un vuelo de reconocimiento?**

Sí, uno. Este ocurrió en la región del Caribe en la temporada de huracanes de 1955 durante el análisis del huracán Janet. Murieron las once personas a bordo, entre ellos dos periodistas. No se encontraron los restos de la tripulación ni del avión. Se cree que Janet era un poderoso huracán categoría 4 en ese entonces.



Foto: Abimael Castro Rivera (Ceiba, Puerto Rico, 2011)

**Figura 8.** Avión caza huracán. Anualmente, el Centro Nacional de Huracanes lleva a cabo giras educativas en diferentes regiones con exposición a ciclones, donde los visitantes reciben información sobre su labor y tienen acceso al avión.

# Medidas de intensidad de ciclones

## ¿Qué criterio se utiliza para medir la intensidad de un ciclón?

Actualmente la intensidad de un ciclón se mide con respecto a los vientos máximos sostenidos. Esto, sin embargo, no siempre ha sido así. Hasta la década de 1990, la intensidad de los huracanes se medía de acuerdo con su presión barométrica.

## ¿Qué escala se utiliza para clasificar la intensidad de un ciclón?

La escala que se utiliza en la mayoría de las cuencas para clasificar la intensidad de un ciclón es la Saffir-Simpson (Tabla 1). Esta fue desarrollada

en 1969 por Herbert Saffir, un ingeniero civil, y Bob Simpson, quien fue director del Centro Nacional de Huracanes. La clasificación se basa en la intensidad de vientos máximos sostenidos del sistema. En el caso de los huracanes, oscila desde la categoría 1 a la categoría 5. Resume además la posible ocurrencia de marejada ciclónica y los posibles daños a la propiedad de acuerdo con la intensidad del huracán. Esto último ayuda en la implementación de medidas de seguridad por parte de los ciudadanos y las autoridades gubernamentales.

**Tabla 1.** Escala de intensidad de huracanes Saffir-Simpson

| Categoría | Velocidad del viento              | Daños potenciales   |
|-----------|-----------------------------------|---------------------|
| 1         | 74 a 95 mph<br>(119 a 153 km/h)   | Algunos daños       |
| 2         | 96 a 110 mph<br>(154 a 177 km/h)  | Daños extensos      |
| 3         | 111 a 129 mph<br>(178 a 208 km/h) | Daños devastadores  |
| 4         | 130 a 156 mph<br>(209 a 251 km/h) | Daños catastróficos |
| 5         | > 157 mph<br>(> 252 km/h)         | Daños catastróficos |

Fuente: National Weather Service

### ¿A qué se refiere el proceso de rápida intensificación de un ciclón?

Cuando un ciclón registra un aumento de 35 mph o más en sus vientos, en un periodo de 24 horas. Un ejemplo fue el huracán María (2017), el cual pasó de ser una tormenta tropical (65 mph) a un huracán categoría 3 (+125 mph) en 24 horas.

### ¿Qué es un huracán intenso, ciclón tropical fuerte o súper tifón?

Estos tres términos hacen referencia a un ciclón de categoría 3, 4 o 5; o sea, aquellos ciclones con velocidades de vientos máximos sostenidos de 111 mph o más en la escala Saffir-Simpson.

### ¿La clasificación de intensidad Saffir-Simpson se utiliza a nivel global?

No. En Australia la intensidad de los ciclones se clasifica por los posibles impactos, no por la intensidad de los vientos.

### ¿Existe algún otro método para estimar la intensidad de un ciclón?

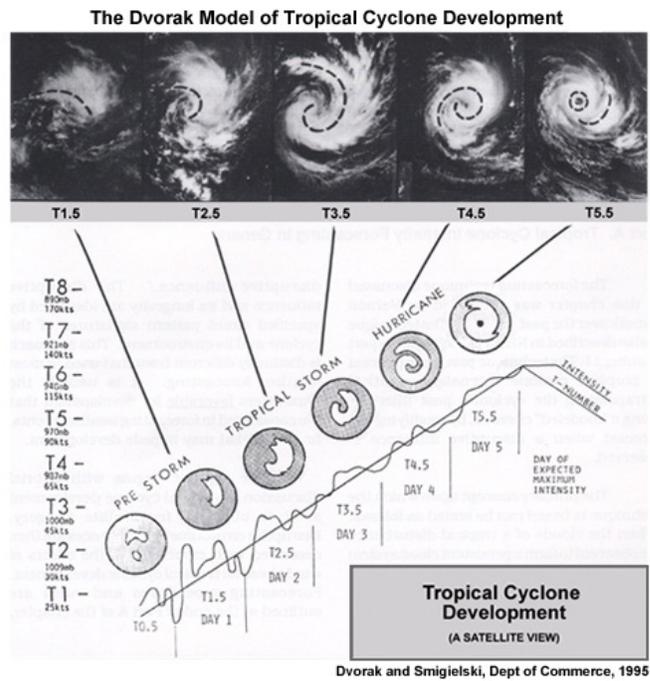
Sí, la técnica de Dvorak.

### ¿Qué es la técnica de Dvorak?

Es una técnica que provee un estimado de la intensidad de los ciclones tropicales a partir de imágenes de satélite. Esta fue desarrollada por el meteorólogo norteamericano Vern Dvorak en 1973.

### ¿Qué información se obtiene de la técnica Dvorak?

Se obtiene un índice de intensidad, de 1.0 a 8.0, conocido en inglés como *Current Intensity* (CI). A mayor el índice, mayor la intensidad del ciclón (Fig. 9). La medida toma en consideración varias características del sistema: el patrón de las bandas curvadas, el patrón de cizalladura (cambios en velocidad de los vientos), el patrón y la temperatura del ojo, y la temperatura de las nubes que rodean el sistema.



Fuente: University Corporation for Atmospheric Research

**Figura 9.** Representación gráfica y escala de la técnica de Dvorak. En la parte superior se presenta la proyección satelital de un sistema atmosférico en sus diferentes fases mientras que en la parte inferior se ilustra la simbología correspondiente según la técnica. Se indica, además, los índices de intensidad según sea el caso.

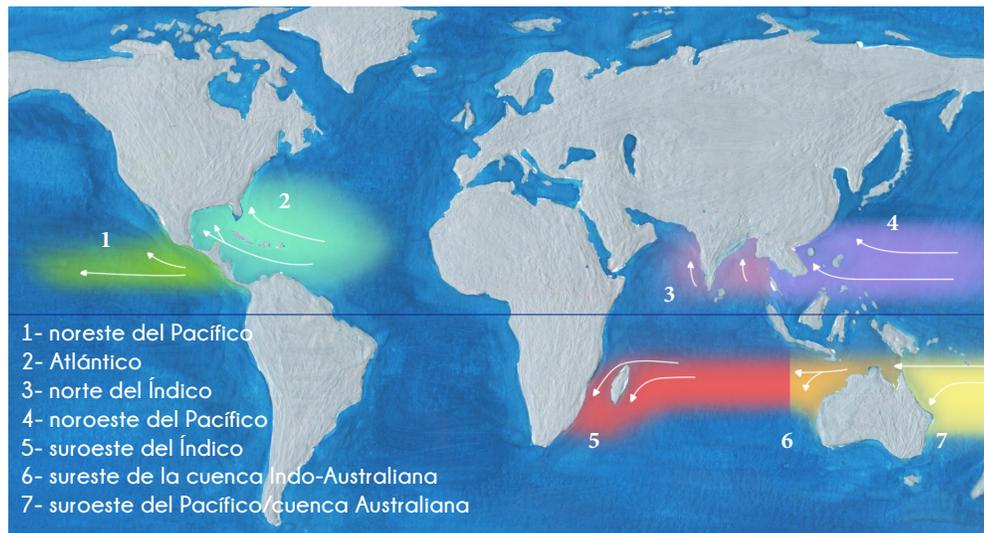
# Distribución geográfico-temporal de ciclones

## En el contexto de ciclones, ¿qué es una cuenca?

Una cuenca es la zona marítima u oceánica donde se desarrollan los ciclones.

## ¿Cuáles son las diferentes cuencas en las que se forman los ciclones?

Los ciclones se forman en cuatro cuencas principales: cuenca del Océano Atlántico (incluye el Mar Caribe y el Golfo de México), cuenca del Océano Pacífico, cuenca del Océano Índico y cuenca Indo-Australiana. De acuerdo con la localización geográfica, se establecen diferentes ubicaciones dentro de las cuencas principales, por ejemplo: noreste del Pacífico o norte del Índico (Fig. 10).



Adaptado de: Ministro de Medio Ambiente y Recursos Naturales

**Figura 10.** Distribución de cuencas de desarrollo ciclónico a nivel global. Las flechas indican el movimiento de traslación generalizado de los sistemas atmosféricos.

## ¿Cómo se les llama a los huracanes en diferentes cuencas?

- En el Océano Índico y Australia a los huracanes se les conoce como ciclones si son de categoría 1 o 2, según la escala Saffir-Simpson, o como ciclones tropicales fuertes o

severos si son categoría 3 o más.

- En el noroeste del Pacífico se les conocen como tifones. Si un sistema atmosférico es clasificado como categoría 3 o más en la escala Saffir-Simpson, entonces se nombran súper tifón.
- En el este del Pacífico y en la cuenca del Atlántico se les conocen como huracanes si son de categoría 1 o 2 en la escala Saffir-Simpson, o como huracanes intensos si son categoría 3 o más.

## ¿Cuándo es la temporada de huracanes en las diferentes cuencas y cuáles son los meses de mayor actividad ciclónica?

- Cuenca del Atlántico: Desde el 1<sup>ro</sup> de junio hasta el 30 de noviembre. La mayor actividad ocurre entre agosto y principios de octubre.
- Cuenca del este del Pacífico: Desde el 15 de mayo hasta el 30 de noviembre.
- Cuenca del noroeste del Pacífico: Puede reportar actividad ciclónica a través de todo el año, aunque hay un breve periodo de calma durante el mes de febrero y a mediados de marzo.

La mayor actividad ocurre entre julio y noviembre.

- Cuenca al norte del Índico: La actividad ciclónica ocurre de abril a diciembre. Los meses de mayor actividad son mayo y noviembre.

- Cuenca sureste y suroeste del Índico: La actividad ciclónica se manifiesta entre finales de octubre o principios de noviembre, continuando hasta finales de abril o inicios de mayo. El sureste tiene dos picos de mayor actividad, uno a mediados de enero y otro entre finales de febrero e inicio del mes de marzo. En cambio, el suroeste tiene un pico en el mes de enero, pero registra una merma hacia mediados de febrero.
- Cuenca Australiana y suroeste del Pacífico: La actividad ciclónica se manifiesta desde finales de octubre hasta principios de mayo. El pico de actividad es entre febrero y marzo.

### **A nivel global, ¿cuál es el mes más activo y el menos activo en términos de actividad ciclónica?**

A nivel global el mes más activo es septiembre, mientras que el de menor actividad es mayo.

### **¿Cuál es el movimiento de traslación de los ciclones en las diferentes cuencas?**

- cuenca del Atlántico: Los huracanes tienden a moverse hacia el oeste u oeste-noroeste. Una vez pasan la latitud 30° N, su movimiento es hacia el noreste.
- cuenca del este del Pacífico: Los huracanes suelen moverse hacia el oeste-noroeste o al noroeste.
- cuenca del noroeste del Pacífico: Los tifones tienden a moverse inicialmente hacia el oeste y luego hacia el norte.
- cuenca al norte del Índico: Los ciclones se mueven, típicamente, de sur a norte.
- cuenca entre el suroeste del Pacífico y Australia: Los ciclones tienen movimiento de noreste a suroeste.
- cuenca suroeste de Australia y el sureste del Índico: Los ciclones se mueven típicamente de noreste a suroeste.
- cuenca del suroeste del Índico: Los ciclones se mueven típicamente de oeste a sur- suroeste.

En las cuencas del Atlántico, Pacífico y norte del Índico, los ciclones giran en contra de las manecillas del reloj. En cambio, en Australia

y desde Australia hacia el sur del Índico, los ciclones giran a favor de las manecillas del reloj. Este cambio en movimiento de traslación se debe a la ubicación de las diferentes cuencas, ya sea en el hemisferio norte o en el sur.

### **¿Puede un ciclón moverse de una cuenca a otra?**

Aunque no es muy común, sí es posible que un ciclón se mueva de una cuenca a otra.

### **¿Dónde y por qué puede darse el movimiento de ciclones entre cuencas?**

Típicamente, esto ocurre de la cuenca del Atlántico hacia la cuenca del Pacífico Nororiental o viceversa, a través de Centroamérica. Esto puede ocurrir si la energía del ciclón no se disipa al interactuar con un territorio.

### **¿Cuál es un ejemplo de un ciclón que se ha trasladado de una cuenca a otra?**

Un ejemplo ocurrió en julio de 1996, cuando la tormenta tropical Cesar se movió desde el Caribe hacia el noreste del Pacífico, donde se renombró como Douglas.

### **¿Cuál es el promedio de ciclones anual a nivel global?**

El promedio de ciclones a nivel global, a partir de datos disponibles desde el 1981, es de 86 al año.

### **¿Cuál es el promedio anual de ciclones por cuencas?**

El promedio anual de ciclones por cuenca, a partir de datos disponibles desde el 1981, es de:

- 4.8 en el norte del Índico
- 7.5 en el sureste del Índico y Australia
- 9.3 en el suroeste del Índico
- 9.9 en el suroeste del Pacífico y Australia
- 12.1 en el Atlántico
- 16.6 en el noreste y Pacífico central
- 26.6 en el noroeste del Pacífico

### **¿Qué es un huracán Cabo Verde?**

Un huracán Cabo Verde es un ciclón que se desarrolla a 600 mi (1,000 km) o menos de las Islas de Cabo Verde, al oeste de África, y que se

convierte en huracán antes de llegar a la región del Caribe (Fig. 11). El huracán Georges (1996) es un ejemplo de este tipo de huracán.



Adaptado de: Atlantic Oceanographic & Meteorological Laboratory, NOAA

**Figura 11.** Área de desplazamiento y trayectoria generalizada de ciclones tipo Cabo Verde.

### ¿Cuál es el promedio de formación de huracanes Cabo Verde?

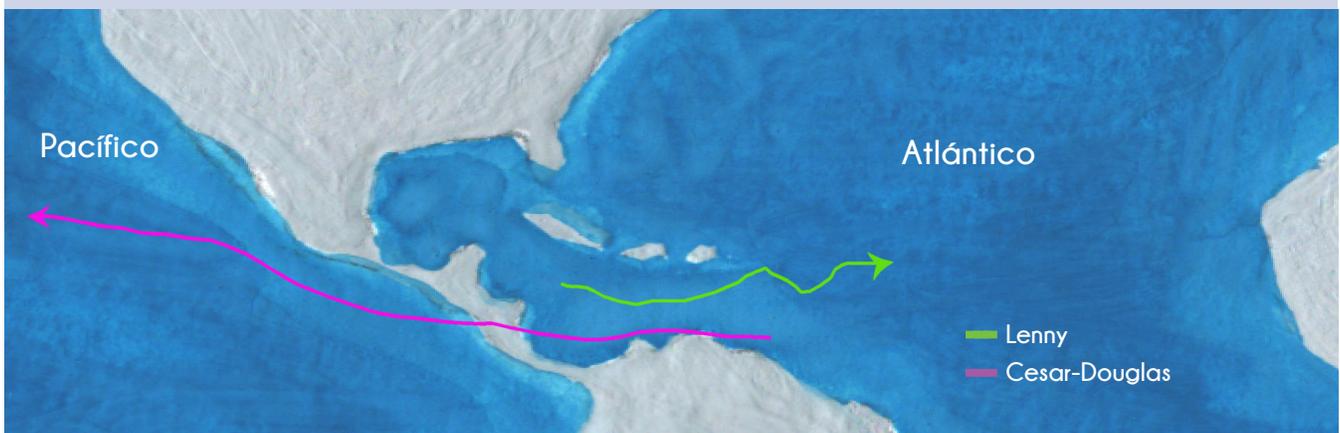
En promedio, se observan dos huracanes Cabo Verde por temporada.

### ¿Qué es un huracán zurdo?

Un huracán zurdo es el nombre por el cual se conoce a aquellos huracanes con una ruta inusual, de oeste a noreste (con movimiento de izquierda a derecha). Un ejemplo de este tipo de huracán es Lenny (1999), el cual afectó la región del Caribe.

## Características meteorológicas récords para ciclones en las cuencas del Océano Atlántico y del Pacífico

- Huracán con mayor intensidad de vientos al final de una temporada de huracanes: **Lenny (1999)**, llegó a ser un huracán categoría 4 durante la tercera semana de noviembre (los días 17 y 18 de dicho mes), ya finalizando la temporada de huracanes en el Atlántico. Lenny también tuvo una ruta inusual, de oeste a este, por lo que se conoce como un “huracán zurdo”.
- Desplazamiento de un huracán de una cuenca a otra: **Cesar-Douglas (1996)**, el cual se desarrolló como un huracán categoría 1 en la cuenca del Atlántico y al que se le llamó Cesar. Luego de pasar por Centroamérica, el sistema se redesarrolló en la cuenca del Pacífico y se renombró como Douglas.



# Asignación de nombres a tormentas y huracanes

## **¿Por qué se nombran las tormentas y los huracanes?**

El propósito principal de nombrar a las tormentas y los huracanes es establecer una comunicación clara y sencilla entre los científicos y la comunidad en general. Dado a que podrían desarrollarse varias tormentas y huracanes en una misma temporada ciclónica, un nombre único para cada sistema provee una referencia para conocer el sistema de estudio en específico y sus posibles impactos durante dicha temporada.

## **¿Por quién y cuándo se comenzó a implementar la técnica de nombrar a las tormentas y los huracanes?**

La asignación de nombres propios para las tormentas y los huracanes fue implementado por Clemente Wragge, un meteorólogo australiano que dirigía su propia oficina meteorológica. El sistema se estableció en el año 1945.

## **¿Cómo se nombran a los ciclones?**

Los ciclones se nombran a raíz de una lista que genera el Servicio Nacional de Meteorología y el Centro Nacional de Huracanes de Estados Unidos en coordinación con la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Los nombres se nombran por orden alfabético e intercalando nombres femeninos y masculinos. En ocasiones, se evita el uso de las letras X, Y y Z dado a los pocos nombres que inicien con tales letras. Las listas se generan y se repiten en periodos de 6 años. Por ejemplo, algunos nombres de la lista generada en el 2017 se podrían usar nuevamente en el 2023.

## **¿Qué criterio se utiliza para eliminar o repetir los nombres de huracanes?**

Los nombres de los huracanes son retirados si el fenómeno generó daños considerables a estructuras o si causó pérdidas de vida. Si

el sistema no impacta de manera negativa o significativamente a una región, entonces es posible que se utilice de nuevo el nombre en temporadas futuras.

## **¿En qué cuenca se repiten con mayor regularidad los nombres?**

En el este del Pacífico tienden a utilizarse con mayor frecuencia los nombres previamente listados, ya que la mayoría de los huracanes se mueven sobre aguas abiertas del océano, con menos riesgo de impacto directo a algún territorio.

## **¿Qué ocurre si se agotan los nombres en la lista generada para una temporada?**

En caso de que se agoten los nombres en una lista determinada, se emplean nombres utilizando letras del alfabeto griego. Este criterio se utiliza en las cuencas del Atlántico y del noreste del Pacífico, mas no así en el Pacífico central, donde se utilizan nombre de la lista pautaada para el año subsiguiente.

## **¿Se han agotado los nombres de la lista durante alguna temporada ciclónica?**

Sí, en el 2005, en la cuenca del Atlántico. La temporada de huracanes fue una sin precedentes, con la formación de 28 ciclones en dicha cuenca. En esa ocasión, después de Wilma, se utilizaron los nombres: Alpha, Beta, Gamma, Epsilon y Zeta.

## **¿Qué ocurre con el nombre de un ciclón que se desplaza de una cuenca a otra?**

Si al desplazarse de una cuenca a otra el fenómeno atmosférico conserva sus características de ciclón, entonces este mantendrá su nombre original. En el caso de que el sistema pase a ser un remanente, y luego recobre fuerzas, se le asignará un nuevo nombre en la nueva cuenca.

### Nombres que han sido eliminados para nombrar tormentas y huracanes en la cuenca del Atlántico:

Agnes, Alicia, Allen, Allison, Andrew, Anita, Audrey, Betsy, Beulah, Bob, Camille, Carla, Carmen, Carol, Celia, Cesar, Charley, Cleo, Connie, David, Dean, Dennis, Diana, Diane, Donna, Dora, Edna, Elena, Eloise, Erika, Fabian, Felix, Fifi, Flora, Floyd, Fran, Frances, Frederic, Georges, Gilbert, Gloria, Greta, Gustav, Harvey, Hattie, Hazel, Hilda, Hortense, Hugo, Igor, Ike, Inez, Ingrid, Ione, Irene, Iris, Irma, Isabel, Isidore, Ivan, Janet, Jeanne, Joan, Joaquin, Juan, Katrina, Keith, Klaus, Lenny, Lili, Luis, Maria, Marilyn, Matthew, Michelle, Mitch, Nate, Noel, Opal, Otto, Paloma, Rita, Roxanne, Sandy, Stan, Tomas, Wilma

### Nombres utilizados del alfabeto griego:

Alpha, Beta, Gamma, Delta, Epsilon, Zeta, Eta, Theta, Iota, Kappa, Lambda, Mu, Nu, Xi, Omicron, Pi, Rho, Sigma, Tau, Upsilon, Phi, Chi, Psi, Omega

Fuente: NOAA

# Mecanismos de alerta de sistemas ciclónicos

## ¿Cuáles son los mecanismos de alerta ante una amenaza ciclónica?

Los diferentes mecanismos o sistemas de alerta se basan en vigilancias o avisos, los cuales se emiten con un periodo de anticipación de hasta 48 horas previas al impacto de un ciclón:

- **vigilancia de tormenta:** Implica que vientos sostenidos de 39 a 73 mph (63 a 118 km/h) son posibles en el área bajo alerta, dentro de un periodo de 48 horas.
- **aviso de tormenta:** Implica que vientos sostenidos de 39 a 73 mph (63 a 118 km/h) son inminentes en el área bajo alerta dentro de un periodo de 36 horas.
- **vigilancia de huracán:** Implica que vientos sostenidos de 74 mph (119 km/h) o más son posibles en el área bajo alerta. Esta vigilancia se emite 48 horas antes de la aparición de vientos con fuerza de tormenta tropical.
- **aviso de huracán:** Implica que vientos sostenidos de 74 mph (119 km/h) o más son inminentes en el área bajo alerta. Este aviso se emite 36 horas antes del inicio de vientos con fuerza de tormenta tropical.

## ¿Qué otros mecanismos se utilizan como sistemas de alerta?

Otros mecanismos de alerta que se utilizan con el propósito de poner inmediatez a los preparativos son:

- **Invest:** Es el nombre que se le da a un sistema de baja presión atmosférica para el cual se comienza a recopilar datos y a monitorearse mediante el uso de imágenes particulares para desarrollar pronósticos de intensidad y ruta. Se denomina con un número del 90 al 99, acompañado de la letra "L" (*Low*); por ejemplo, Invest 90L, se refiere al Sistema de Investigación con baja presión #90. El Invest no necesariamente se convierte en un sistema ciclónico, pero puede resultar

en otras amenazas como lluvias intensas y ráfagas de viento.

- **Potential Tropical Cyclone (PTC):** Es el nombre que se le da a un sistema de baja presión atmosférica con posibilidades de desarrollo ciclónico y que, aunque no cuenta con las características de un ciclón, amenaza con generar condiciones de tormenta o huracán a un territorio dentro de un periodo de 48 horas. Podrían emitirse alertas aun sin haber sido clasificado como ciclón.

## ¿Quién emite las diferentes alertas?

El Centro Nacional de Huracanes en conjunto con las oficinas locales del Servicio Nacional de Meteorología emiten las distintas alertas ante la amenaza de un ciclón en las cuencas del Atlántico y del Pacífico Nororiental.

## ¿Cuáles son las herramientas visuales que complementan los sistemas de alertas?

Algunas de las herramientas visuales que se utilizan para complementar la información provista en los diferentes sistemas de alertas son:

- **cono:** Mapa que resume la posible ruta de un ciclón tropical y el tiempo estimado de arribo. El cono está compuesto por círculos cuyos centros indican el paso proyectado del centro del ciclón. El cono se amplía en función del tiempo, dado a que el margen de error incrementa a medida que aumenta el periodo de tiempo de arribo del sistema (Fig. 12).
- **perspectiva de tiempo tropical:** Mapa donde se identifican los sistemas ciclónicos actuales o aquellas bajas presiones atmosféricas con potencial de desarrollo ciclónico en un periodo de 2 o de 5 días. Los sistemas de bajas presiones con potencial de desarrollo se identifican con una marca (x) y con área

sombreada de colores (amarillo, anaranjado o rojo), según sea su potencial de desarrollo (Fig. 13).

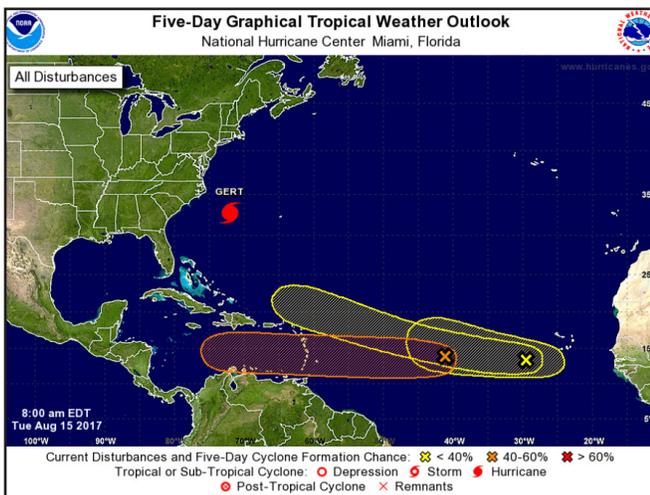
- mapa de probabilidades de velocidad del viento en la superficie: Mapa que indica las probabilidades (de 5 % a 100 %) del registro de vientos sostenidos de un ciclón en un periodo de 5 días, tomando en consideración la posible ruta y el tamaño del fenómeno. Provee, además, un estimado del arribo de los vientos (Fig. 14). Puede ser acompañado por un mapa de probabilidad de arribo (Fig. 15).
- modelos espaguetis: Modelos agrupados que representan un pronóstico de intensidad o de ruta de un fenómeno atmosférico en

desarrollo, o de ciclón ya constituido (Fig. 16 y Fig. 17). Los mismos son representados por líneas, en gráficas o mapas. A pesar de que cada modelo es identificado con una sola línea, esta línea es un promedio del conjunto de modelos que le componen.

- imagen de radar: Imagen que registra la actividad de aguaceros y tronadas junto a su intensidad y desplazamiento.
- imagen de satélite: Imagen que despliega la actividad nubosa de una región.
- imagen de satélite *Floater*: Imágenes específicas de un sistema (ya sea con potencial de formación o ya constituido) que registra la evolución de este.



Fuente: NOAA



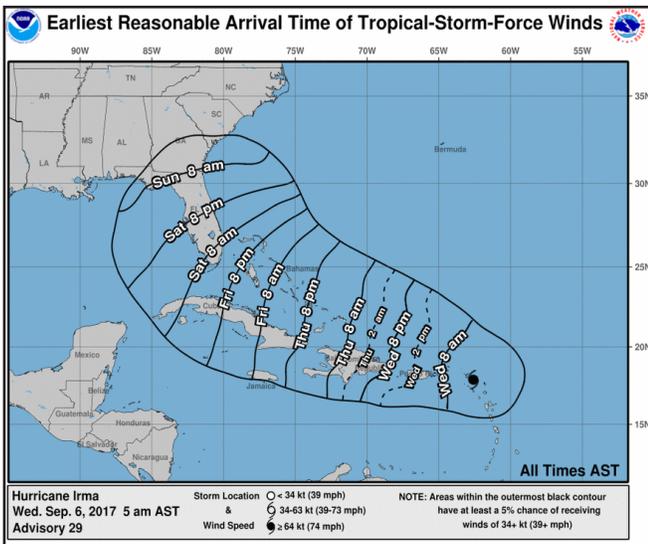
Fuente: NOAA

**Figura 12.** Mapa de cono. Muestra un sistema próximo a desarrollarse en ciclón (conocido como ciclón tropical potencial), junto con la trayectoria y tiempo (día y hora) de arribo estimados. El mapa utiliza letras para indicar el tipo de sistema proyectado: D (depresión tropical), S (tormenta tropical), H (huracán categoría 1 o 2), M (huracán mayor, es decir, categoría 3 o más). El color amarillo representa vigilancia de tormenta y el color rosa de huracán; mientras que los avisos son identificados con los colores azul o rojo, respectivamente.

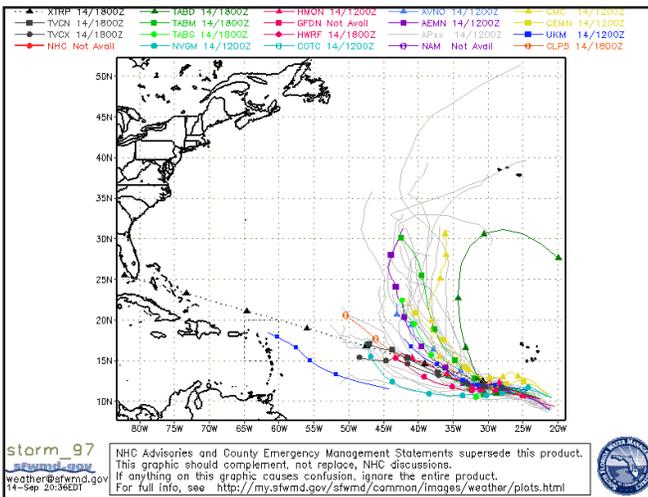
**Figura 13.** Mapa de perspectiva de tiempo tropical. Muestra aquellos sistemas con potencial ciclónico o ciclones ya desarrollados. Para los sistemas de bajas presiones con potencial de desarrollo ciclónico en los próximos 2 o 5 días, los sistemas se identifican con una marca (X). El área sombreada representa el área de posible formación de un sistema y el color representa su potencial de desarrollo: amarillo (potencial de desarrollo ciclónico de hasta 40%; potencial de desarrollo relativamente bajo), anaranjado (potencial de desarrollo ciclónico mayor de 40% y menor de 60%; potencial de desarrollo relativamente mediano) y rojo (potencial de desarrollo ciclónico mayor de 60%; potencial de desarrollo relativamente alto).



Fuente: NOAA



Fuente: NOAA

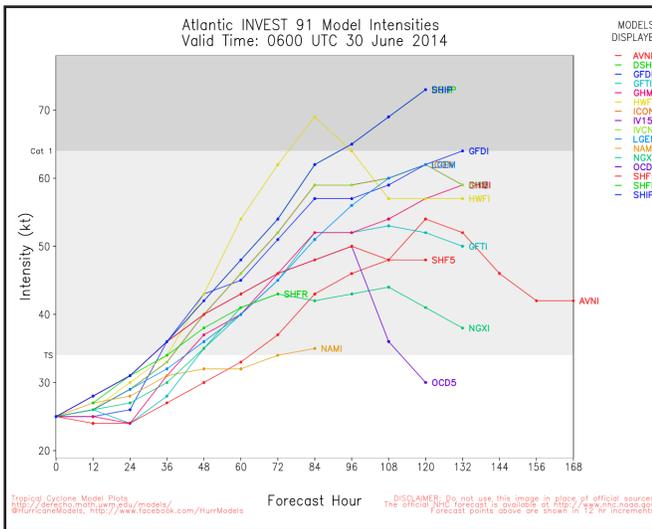


Fuente: NOAA

**Figura 14.** Mapa de probabilidades de velocidad del viento en la superficie. Indica la posible extensión del campo de vientos de un ciclón. Los colores y las diferentes tonalidades representan la probabilidad (en términos porcentuales) de recibir los vientos. El centro del ciclón se identifica con un punto.

**Figura 15.** Mapa de probabilidad de arribo. Mapa que complementa la imagen de probabilidades de velocidad del viento en la superficie. A diferencia del mapa de probabilidades (Fig.14), este mapa solamente muestra el arribo (día y hora) estimado de los vientos de un ciclón, ya sea una tormenta o un huracán. El centro del ciclón se identifica con el símbolo tradicional que corresponda.

**Figura 16.** Modelos espaguetis de trayectoria. Gráfica que proyecta distintos modelos meteorológicos para un sistema atmosférico, los cuales pronostican la ruta del mismo. En este ejemplo los modelos inician cerca de la longitud 20° O (al sur de las Islas de Cabo Verde), lo que indica que la circulación del fenómeno está ubicada en esa región. En este caso particular, y dado la variabilidad en los modelos, no hay gran consenso sobre la posible ruta que tomará el sistema en el océano Atlántico una vez pase la longitud 30° O.



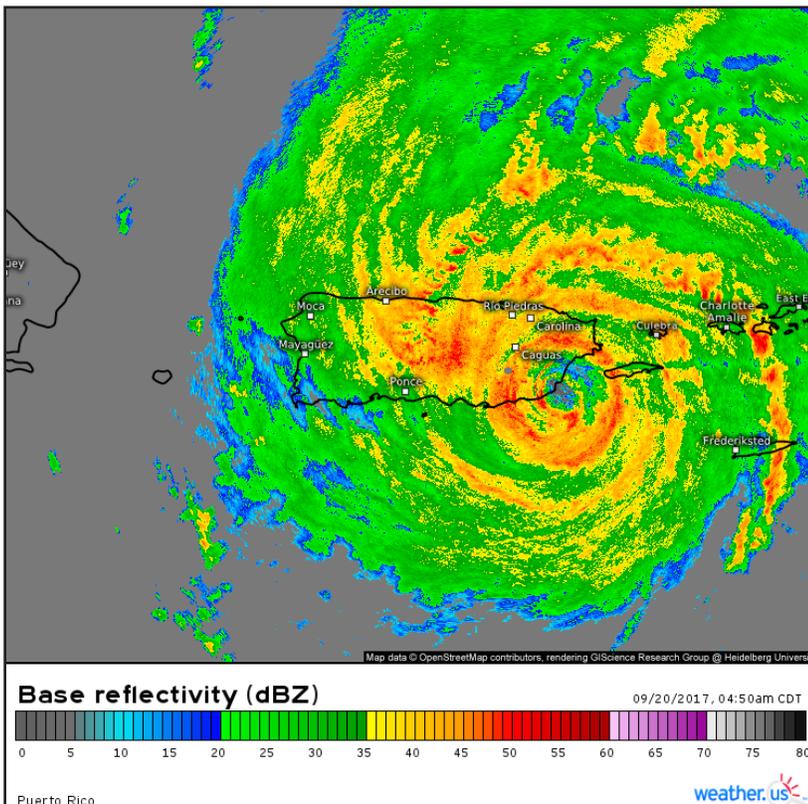
Fuente: Hurricane Forecast Model Output, University of Wisconsin-Milwaukee

**Figura 17.** Modelos espaguetis de intensidad. Gráfica que proyecta la intensidad pronosticada de un sistema atmosférico según diferentes modelos meteorológicos. En el eje de Y se muestra la intensidad de los vientos, mientras que en el eje de X se muestra el intervalo de tiempo, en horas. En este ejemplo la mayoría de los modelos proyectan que el sistema atmosférico (Invest 91 L) alcanzará vientos de tormenta en un periodo de 24 a 36 horas. Cada línea (con su respectivo color) representa un modelo diferente.

### ¿Cuál es la diferencia entre una imagen de radar y una de satélite?

Una imagen de radar muestra la precipitación (por ejemplo, la actividad de lluvia) que acompaña a un sistema atmosférico, las áreas de tronadas y su dirección (Fig. 18). Además de detectar la lluvia, provee un estimado de la acumulación total de lluvia en un intervalo de

horas. Estos registros se toman desde un radar el cual está ubicado dentro de un territorio. En cambio, las imágenes de satélite proyectan la actividad nubosa, vista desde el espacio. Estas tienen distintas funciones: desde medir la densidad y las temperaturas de las nubes, hasta el contenido de vapor de agua presente en la atmósfera.



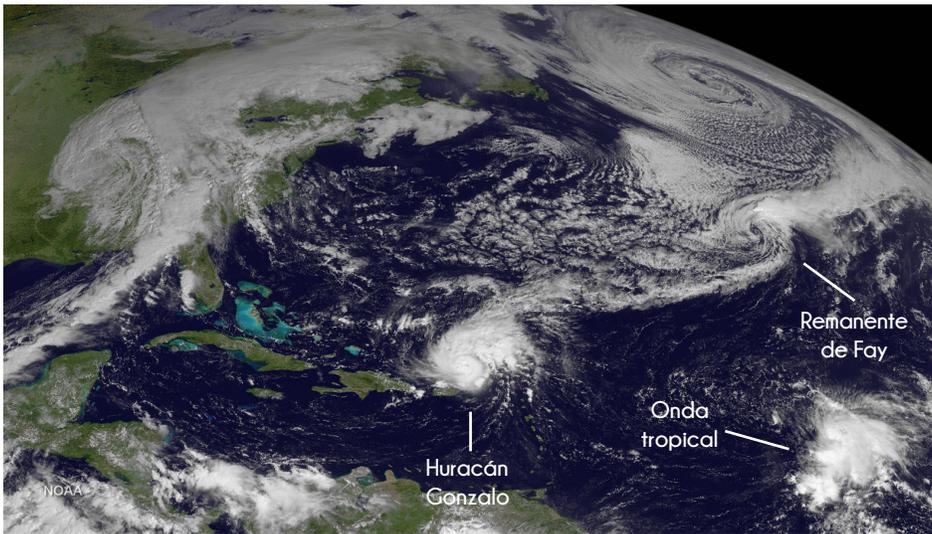
**Figura 18.** Imagen capturada por un radar meteorológico el cual proyecta las áreas de precipitación y su movimiento a través de una zona. La tonalidad de los colores varía de acuerdo con la intensidad de la lluvia, así como también por la presencia de tronadas. Las tonalidades azules y verdes, por ejemplo, indican un registro de precipitaciones leves, mientras que las tonalidades anaranjadas, rojas y violetas representan actividad de lluvia intensa y posibles tronadas. Las tonalidades amarillas indican lluvias moderadas. Los colores pueden variar según el navegador o despliegue digital que se utilice. En esta imagen se muestra el huracán María sobre Puerto Rico el 20 de septiembre de 2017.

Fuente: Weather.us

## ¿Cuáles son los diferentes tipos de imágenes de satélite y cuál es su utilidad?

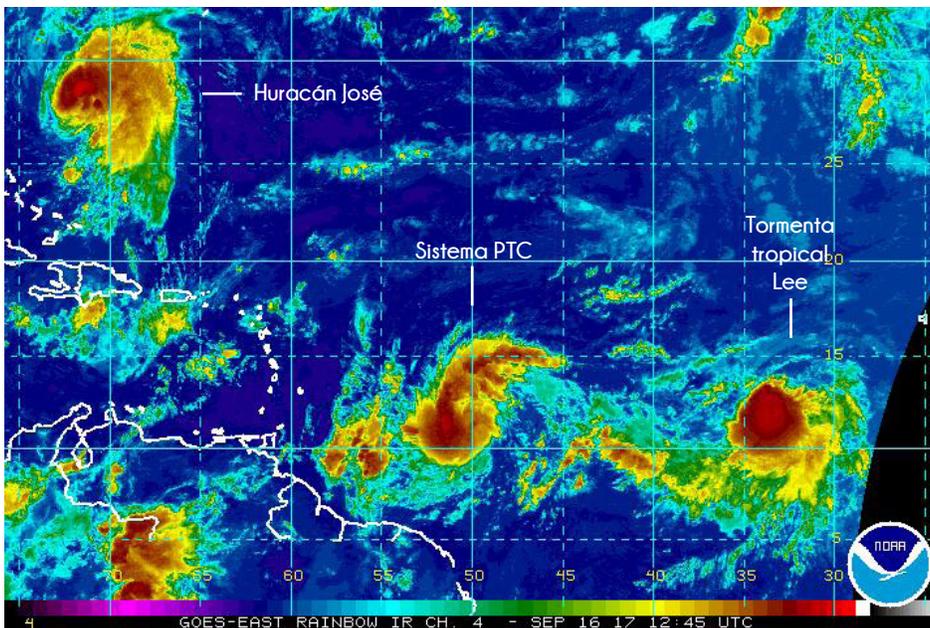
- Visible: Imágenes tomadas durante el día (Fig. 19). La nubosidad se representa con tonalidades de blanco o gris, dependiendo de su densidad. Es útil para identificar sistemas de baja presión en desarrollo ciclónico y, en ocasiones, hasta el tipo de nubosidad que se registra (alta o de baja altitud).
- Infrarrojo: Imágenes tomadas tanto de día como de noche (Fig. 20). La nubosidad se representa en variedad de colores, siendo

- los más comunes azul, amarillo y rojo o amarillo, anaranjado y rojo. En estas se puede identificar fácilmente las zonas de tronadas.
- Vapor de agua: Imagen tomada tanto de día como de noche, la cual proyecta el contenido de humedad de la atmósfera a diferentes alturas (Fig. 21). Es útil para identificar masas de aire seco, polvo del Sahara y el ambiente en el cual se encuentra un ciclón. Además, la presencia de vaguadas es fácil de identificar en este tipo de imagen.



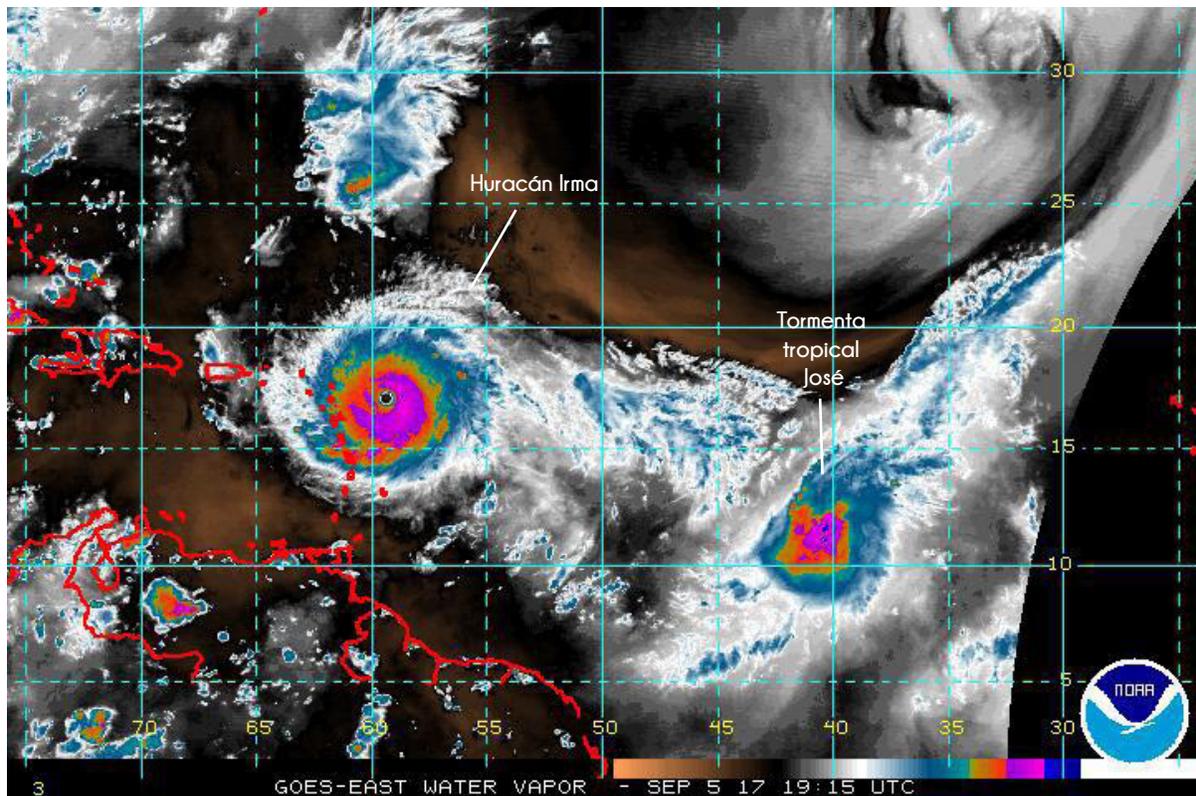
**Figura 19.** Imagen del satélite GOES-13, de tipo visible, del 14 de octubre de 2014. En dicha imagen se pueden identificar el huracán Gonzalo, una onda tropical y un sistema remanente (del huracán Fay).

Fuente:NOAA



**Figura 20.** Imagen del satélite GOES-EAST, infrarroja, del 16 de septiembre de 2017. La tonalidad de los colores representa una emisión de temperatura. A menor temperatura, mayor es la altura de la nubosidad (las cuales se caracterizan por ser más frías y de escasa precipitación). Por lo tanto, en una imagen infrarroja, los tonos más oscuros están asociados a nubes más bajas y a precipitaciones y tormentas. En este ejemplo se puede identificar el huracán José, la tormenta tropical Lee y un PTC.

Fuente: NOAA



Fuente: NOAA

**Figura 21.** Imagen del satélite GOES-EAST, de vapor de agua, del 5 de septiembre de 2017. Este tipo de imagen muestra el contenido de vapor de agua en la atmósfera, siendo las tonalidades anaranjadas-marrón aquellas áreas con el menor contenido de vapor de agua y las tonalidades azules, rojas y violetas las de mayor contenido o las de nubosidad ya constituidas. En este ejemplo se pueden identificar a el huracán Irma y a la tormenta tropical José.

# Ciclones y sus impactos

## ¿Cuál es la diferencia entre un impacto directo, un impacto indirecto y un azote (*strike*)?

- Impacto directo: Cuando un territorio recibe el paso muy cercano de un ciclón, lo suficiente como para que el radio de vientos máximos afecte al mismo. Como el radio de vientos varía por cuadrante, un territorio a la izquierda de un ciclón recibirá el llamado “impacto directo” si la distancia a la cual pasa es igual a la del radio de vientos. Mientras, un territorio a la derecha de un ciclón recibirá un impacto directo si está a una distancia del doble del radio de vientos. El que un impacto sea directo no implica la entrada del centro (ojo) del ciclón a un territorio.
- Impacto indirecto: Cuando un territorio no experimenta un impacto directo del ciclón, pero experimenta vientos fuertes, ya sean sostenidos o en ráfagas, y marejadas de por lo menos 4 pies sobre lo normal.
- Azote (*strike*): Cuando el centro del ciclón o el radio de vientos más mortíferos coincide con un territorio. Para que se considere como un azote, el territorio debe estar dentro de 75 millas náuticas (86.3 mi / 138.9 km) a la derecha del centro del sistema y 50 millas náuticas (57.5 mi / 92.6 km) a la izquierda de este; aunque el centro del sistema no entre, necesariamente, al territorio (Fig. 22).

## ¿Qué quiere decir que un huracán “tocó tierra”?

Esto quiere decir que el centro (ojo) del huracán pasó sobre un territorio.

## ¿Cuáles son los peligros asociados a la ocurrencia de un ciclón?

Los ciclones podrían generar peligros naturales

tales como: inundaciones, marejada ciclónica, trombas marinas, tornados, deslizamiento de terreno y erosión costera.

## ¿Qué es una inundación?

Una situación en la cual el agua cubre un terreno que se caracteriza por ser seco (Fig. 22 y 23). Esto ocurre debido a agua proveniente de lluvias, marejadas y desbordamientos de ríos o quebradas. También pueden ocurrir por las escorrentías que discurren a través de la superficie del terreno y que son producidas por la lluvia y el declive de este.



Foto: FEMA

**Figura 22.** Inundación en municipio costero a causa del huracán María (Loíza, Puerto Rico, 2017).



Foto: Javier Rivera

**Figura 23.** Inundación por desbordamiento de río a causa de las lluvias generadas por el huracán María (Orocovis, Puerto Rico, 2017).

### ¿Qué tipos de inundaciones existen?

Se distinguen, por lo general, dos tipos de inundaciones: las inundaciones tierra adentro (también conocidas como inundaciones de origen terrestre) y las inundaciones costeras.

### ¿Qué es una inundación tierra adentro?

Una inundación que resulta del desbordamiento de un río, quebrada o riachuelo (dado a que se excede la capacidad de estos cuerpos de agua para transportar agua en su cauce), o por las escorrentías que se producen a raíz de grandes cantidades de lluvia.

### ¿Qué es una inundación repentina?

Es un tipo de inundación tierra adentro que ocurre en un periodo corto (minutos a horas) debido a lluvias intensas.

### ¿Qué es una inundación costera?

Una inundación que resulta del aumento inusual en el nivel del mar. Dicho aumento puede estar asociado a sistemas atmosféricos (como fuertes bajas presiones, ciclones o tormentas invernales) o al efecto de fuertes vientos contra la costa.

### ¿Qué es la marejada ciclónica?

La marejada ciclónica es el aumento inusual del nivel de agua en la línea de costa o de un lago, producida por los vientos fuertes y la baja presión del ciclón (Figs. 24 y 25). Este aumento es independiente a los niveles producidos por la marea astronómica.

### ¿Qué es la marea astronómica?

Es una marea periódica que resulta de las fuerzas gravitacionales que ejercen la Luna y el Sol sobre nuestro planeta.

### ¿Qué es la marea de tormenta?

Es la combinación de la marejada ciclónica y la astronómica.

### ¿Qué es una tromba marina?

Una tromba marina es un fenómeno meteorológico, típico de las regiones tropicales, con forma de embudo que se sitúa entre la base

de una nube de tormentas y la superficie del mar. Forma una columna rotativa de agua, la cual persiste solo por algunos minutos. Son similares a los tornados a excepción de que ocurren en agua y son de menor intensidad.



Foto: Ruperto Chaparro Serrano

**Figura 24.** Marejada ciclónica a causa del huracán María (Rincón, Puerto Rico, 2017).



Foto: Ruperto Chaparro Serrano

**Figura 25.** Daños causados por la marejada ciclónica resultante del huracán María (Rincón, Puerto Rico, 2017).

### ¿Qué es un tornado?

Un tornado es un fenómeno meteorológico compuesto de una columna rotativa de aire, en forma de embudo, la cual libera grandes cantidades de energía. No hay un tamaño ni forma estándar que los defina, aunque típicamente se caracteriza por tener una estructura ancha desde la base de una nube con tronada severa, hasta disminuir en grosor a medida que se acerca a la superficie terrestre. Los tornados se clasifican en escalas, de acuerdo con la fuerza de sus vientos y la capacidad de generar daños. La escala más común es la Fujita-Pearson, la cual va de F0 a F5, siendo F5 el más mortífero.

### ¿En todos los ciclones se producen tornados?

En términos generales, todos los ciclones generan por lo menos un tornado.

### ¿Cuál cuadrante es más favorable para la formación de tornados?

Es el cuadrante derecho (noreste y sureste) el más propenso a desarrollar tornados en el hemisferio norte. En cambio, el cuadrante izquierdo es el más favorable en el hemisferio sur.

### ¿Qué es un deslizamiento de terreno?

Un deslizamiento de terreno es un tipo de desplazamiento de material —en la mayoría de los casos, de roca, suelo, o una combinación de estos— a través de una pendiente, e influenciado por la fuerza de gravedad (Figs. 26 y 27). Pueden ser provocados por procesos naturales (como por ejemplo, terremotos, lluvias intensas y prolongadas o erupciones volcánicas) o por procesos asociados a la inestabilidad del terreno por factores humanos (por ejemplo, por construcciones).

### ¿Qué es erosión costera?

Es la pérdida de sedimento (por ejemplo, de arena) a lo largo de la línea de costa (Fig. 28).



Foto: FEMA.

**Figura 26.** Deslizamiento de terreno a raíz del paso del huracán María (Utua, Puerto Rico, 2017).



Foto: Javier Rivera

**Figura 27.** Daños causados a una carretera por deslizamiento de terreno tras el paso del huracán María (Orocovis, Puerto Rico, 2017).



Foto: Ruperto Chaparro Serrano

**Figura 28.** Erosión costera y daños a infraestructura tras el paso del huracán María (Rincón, Puerto Rico, 2017).

## **¿Los impactos de los ciclones son todos negativos?**

Ciertamente, el impacto de un ciclón, sobre todo en el corto y mediano plazo, es devastador para la sociedad y los ecosistemas, y puede parecer muy difícil encontrar algo positivo tras el paso de un ciclón. Sin embargo, no todos los impactos que resultan del paso de un ciclón son negativos. Algunos ejemplos de efectos positivos de los ciclones son:

- Desde el punto de vista ecológico, y sobre todo al mediano y largo plazo, por ejemplo, los ciclones pueden contribuir a la “renovación” de los bosques, dando paso a la regeneración —y subsecuente sucesión— de especies; promueven, además, cambios en las condiciones ambientales que son positivos para algunas especies de plantas y animales, y aumentan la heterogeneidad del paisaje y la variabilidad de procesos de ecosistemas.
- Los ciclones —sobre todo mediante la lluvia, flujo de agua, e inundaciones que producen— redistribuyen nutrientes y sedimentos de un lugar a otro; lo que aporta a la fertilización de suelos en diferentes lugares, y a la disponibilidad de estos sedimentos y nutrientes para el uso de otros organismos y procesos de ecosistema.
- La lluvia resultante de un ciclón forma y mantiene los cauces de los ríos y quebradas. Además, en lugares que son secos, o que han sufrido sequías, la lluvia que producen los ciclones es beneficiosa para recargar acuíferos y fuentes de agua superficiales.
- En el caso de los corales, por ejemplo, los ciclones pueden producir una disminución en las temperaturas oceánicas, lo cual induce un ambiente menos estresante para los corales. Aguas muy cálidas pueden inducir el blanqueamiento (o decoloración) de los corales y, eventualmente, su muerte.
- Para las personas que experimentan el paso de un ciclón, este provee un marco de referencia y una fuente de experiencia y conocimientos que pueden ayudar a afrontar mejor futuros eventos; antes, durante y después del mismo.

# Unidades de conversión comúnmente utilizadas en la meteorología

## Velocidad:

1 mph = 0.869 millas náuticas internacionales por hora

1 mph = 1.609 kilómetros por hora (km/h)

1 mph = 0.4470 metros por segundo (m/s)

1 nudo = 1.852 km/h

1 nudo = 0.5144 m/s

1 m/s = 3.6 km/h

## Presión del aire:

1 pulgada de mercurio (inHg) = 25.4 mmHg = 33.86 milibars (mb) = 33.86 hectoPascals

## Distancia:

1 pie (ft) = 0.3048 metros (m)

1 milla náutica internacional = 1.1508 millas = 1.852 kilómetros (km) = 0.99933 millas náuticas EE. UU.

1° de latitud = 69.047 millas = 60 millas náuticas = 111.12 km

## Temperatura:

$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) * 5/9$

$^{\circ}\text{F} = (9/5 * ^{\circ}\text{C}) + 32$

# Referencias



Colón Torres, J. A. 2009. Climatología de Puerto Rico. San Juan, PR: Editorial de la Universidad de Puerto Rico. 205 p.

Florida International University, International Hurricane Research Center. “Descripción del ciclón tropical”. <https://hurricanes.fiu.edu/productos-del-nhc/descripcion-del-ciclon-tropical/index.html>. Accesado el 11 de junio de 2018.

Foresman, T. y Strahler, A. H. 2012. Visualizing Physical Geography. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc. 590 p.

Houze, R. A. 2014. Clouds and Precipitation in Tropical Cyclones. International Geophysics 104: 287–327.

Lugo, A. E., A. R. Martínó y F. Quiñones Márquez. 2011. Cartilla del agua para Puerto Rico. Acta Científica 25(1-3): 1-138.

Lugo, A. E., A. Ramos Álvarez, A. Mercado, D. La Luz Feliciano, G. Cintrón, L. Márquez D’Acunti, R. Chaparro, J. Fernández Porto, S.J. Peisch y J. Rivera Santana. 2004. Cartilla de la zona marítimo-terrestre. Acta Científica 25(1-3): 1-148.

Lugo, A.E. 2008. Visible and invisible effects of hurricanes on forest ecosystems: an international review. Austral Ecology 33: 368–398.

Mann, M. E. y L. R. Kump. 2015. Dire Predictions: Understanding Climate Change (2da ed). New York, NY: Pearson Education. 224 p.

National Oceanic and Atmospheric Administration. “Glossary of National Hurricane Center Terms”. <https://www.nhc.noaa.gov/aboutgloss.shtml>. Accesado el 11 de mayo de 2018.

National Oceanic and Atmospheric Administration. “National Hurricane Center Prototype and Experimental Products”. <https://www.nhc.noaa.gov/experimental/>. Accesado el 11 de mayo de 2018.

National Oceanic and Atmospheric Administration, Hurricane Research Division, Atlantic Oceanographic & Meteorological Laboratory. “Preguntas Frecuentes de Ciclones Tropicales”. <http://www.aoml.noaa.gov/hrd/>. Accesado el 8 de mayo de 2018.

Smith, K. 2013. Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster (6ta ed). New York, NY: Routledge. 504 p.

## Referencias electrónicas para la identificación de imágenes y mapas

Atlantic Oceanographic & Meteorological Laboratory, National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA): <http://www.aoml.noaa.gov/>

Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies. University of Wisconsin-Madison: <http://www.intellicast.com/>

Hurricane Forecast Model Output, University of Wisconsin-Milwaukee: <http://derecho.math.uwm.edu/models/>

Intellicast: The Authority in Expert Weather: <http://www.intellicast.com/>

Ministro de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Gobierno de El Salvador: <http://www.snet.gob.sv>

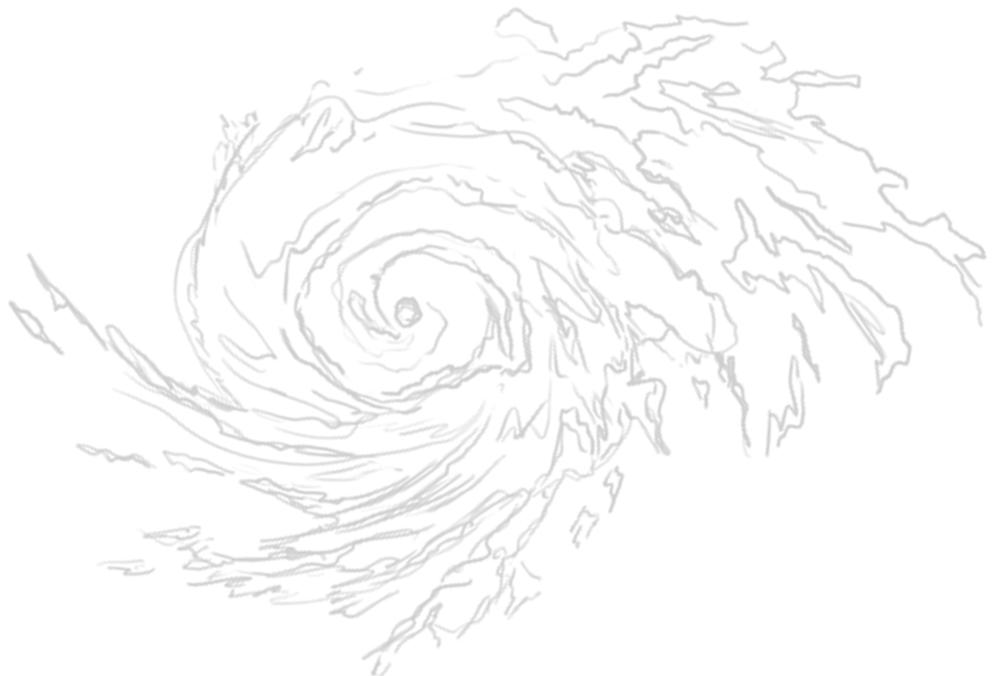
National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA) Satellite and Information Service: <https://www.nesdis.noaa.gov/>

National Weather Service: <https://www.weather.gov>

South Florida Water Management District: <https://www.sfwmd.gov/>

University Corporation for Atmospheric Research: <https://www2.ucar.edu/>

Weather.us: <https://weather.us/>



# Sobre esta publicación



La Cartilla de los ciclones es parte de los esfuerzos de educación y fomento de sociedades resilientes del Programa Sea Grant de la Universidad de Puerto Rico con sede en el Recinto Universitario de Mayagüez (RUM). Es parte, además, de un proyecto del Centro Interdisciplinario de Estudios del Litoral del RUM sobre amenazas naturales y desastres en Puerto Rico, titulado “Proyecto 1867: Desastres y memoria en Puerto Rico”.

## Sobre los autores

**Abimael Castro Rivera** es estudiante subgraduado del Departamento de Geología de la Facultad de Artes y Ciencias del Recinto Universitario de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico. Es, además, Asistente de Investigación en el Centro Interdisciplinario de Estudios del Litoral. Desde los 12 años se ha desempeñado como reportero del tiempo en diversas emisoras de radio en Puerto Rico. Está a cargo de la columna del informe meteorológico en el periódico digital Tu Noticia PR. Ha llevado a cabo investigación sobre actividad ciclónica en Puerto Rico y sobre los impactos de huracanes en ecosistemas costeros. Una vez finalice su bachillerato, pretende continuar estudios graduados en ciencias atmosféricas.

**TaniadelMarLópezMarrero** es Catedrática Asociada en el Programa de Sociología del Departamento de Ciencias Sociales de la Facultad de Artes y Ciencias del Recinto Universitario de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico. Tiene un bachillerato en Ciencias Ambientales de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras y una maestría y doctorado en Geografía de la Universidad del Estado de Pennsylvania. Sus áreas de investigación incluyen diversos temas asociados a la relación humano-sociedad-ambiente: amenazas naturales y reducción de riesgo, transformación del paisaje, beneficios de ecosistemas e impulsores de cambio ambiental. Actualmente es la directora del Centro Interdisciplinario de Estudios del Litoral.

## Cómo citar esta publicación

Castro Rivera, A. y López Marrero T. 2018. Cartilla de los ciclones. Programa Sea Grant. Mayagüez, PR: Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez.

Para acceder la versión electrónica de la publicación, visite

<https://seagrantpr.org/es/comunicaciones-y-publicaciones/libros/>

[www.proyecto1867.com](http://www.proyecto1867.com)

