

GENERALIDADES SOBRE LOS CICLONES TROPICALES Y PRONÓSTICOS DE TRAYECTORIAS

Autores: Susana Reyes Romero, Miyumi Denis Llorens

Facultad de Gestión de la Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

Avenida Salvador Allende y Luaces, Ciudad de La Habana, Cuba

Tel: 879 – 7858

e-mail: sreyes@apache.isctn.edu.cu; mdenis@apache.isctn.edu.cu

RESUMEN

El presente trabajo da a conocer las características principales de los ciclones tropicales, los cuales ocasionan invaluable pérdida de vidas humanas y económicas a su paso, si no estamos alertas. Durante muchos años el hombre se mantuvo indefenso respecto a estos sistemas de intensos vientos y lluvias, hasta que por los constantes avances de la ciencia y la técnica este fue descubriendo las regularidades por las que estos fenómenos se podían predecir en cuanto a trayectoria e intensidad, para ello existen varias fuentes de datos: las observaciones superficiales, la observación mediante los aviones de reconocimiento, los radares meteorológicos, los satélites y las imágenes de microondas. El comportamiento de los ciclones tropicales puede ser predicho a través de modelos estadísticos, estadístico – dinámicos o dinámicos. Por su importancia investigamos también sobre el período del año en que son más frecuentes estos fenómenos, así como su evolución.

INTRODUCCION

Los ciclones tropicales son los fenómenos meteorológicos más espectaculares que se producen entre las latitudes de 5 a 30⁰C en el hemisferio norte. La fuerza de estos sistemas de vientos giratorios y otros fenómenos peligrosos que les acompañan han sido muy temidos por los habitantes de las islas del Caribe, incluyendo Cuba, Centroamérica y costas sur y oriental de Estados Unidos, en esta parte del Océano Atlántico.

Estos organismos han acarreado tantos daños en las zonas pobladas que ya desde la época de la colonización de América se justificaba la necesidad de predecir su afectación. Fue desde la mitad del siglo XIX que el padre jesuita Benito Viñes inició los estudios del estado del tiempo asociados a los ciclones tropicales para intentar predecir su trayectoria, acumulando conocimientos muy importantes y avanzados para la época, que permitieron comprender la naturaleza de estos fenómenos.

El desarrollo posterior de las medidas de observación y transmisión de datos, el intercambio de información entre servicios meteorológicos, las técnicas de percepción remota y métodos de pronósticos y de trayectorias , han conducido a la creación de la especialidad en Ciclonología Tropical, como disciplina dedicada a la vigilancia y seguimiento dentro de las distintas regiones ciclogénéticas durante las temporadas favorables.

El presente trabajo se concibe para dar a conocer conceptos básicos sobre ciclones tropicales y presentar algunas técnicas que permiten dar solución al problema fundamental de dichos organismos: la determinación de su trayectoria.

MATERIALES Y METODOS

Se realizó una recopilación de conceptos sobre diversos aspectos de las fases de desarrollo y estructura de los ciclones tropicales que se obtuvieron de algunas fuentes de Internet, entre ellas www.nhc.noaa.gov , del Centro Nacional de Huracanes de Estados Unidos.

Otro material básico empleado fue el libro de texto del curso de Meteorología Tropical, cuyo autor es el Dr. Ramón Pérez Suárez (1999), de donde se obtuvo la

información sobre los métodos de pronóstico de trayectorias en los que se emplean importantes servicios meteorológicos del mundo.

DESARROLLO Y DISCUSION

DEFINICIONES SOBRE CICLONES TROPICALES

Es el nombre genérico que se le da a sistemas de vientos que rotan alrededor de un centro de baja presión, en el sentido contrario a las manecillas del reloj en el hemisferio norte, y en el sentido opuesto en el hemisferio sur. Los ciclones tropicales tienen también una componente de traslación que generalmente coincide con el flujo de vientos del este en la zona tropical, que paulatinamente cambiará al norte y nordeste.

El término "huracán" se emplea para denominar la etapa de madurez de un ciclón tropical. Tiene su origen en el nombre que los indios mayas y caribes daban al dios de las tormentas, pero este mismo fenómeno meteorológico es conocido en la India con el nombre de "ciclón", en las Filipinas se le denomina "baguio", en el oeste del Pacífico norte se le llama "tifón", y en Australia "Willy-Willy". Estos términos identifican un mismo fenómeno meteorológico.

En forma sencilla, un huracán es un viento muy fuerte que se origina en el mar, remolino que se desplaza sobre la superficie terrestre girando en forma de espiral acarreando humedad en enormes cantidades, y que al tocar áreas pobladas, generalmente causa daños importantes o incluso desastres.

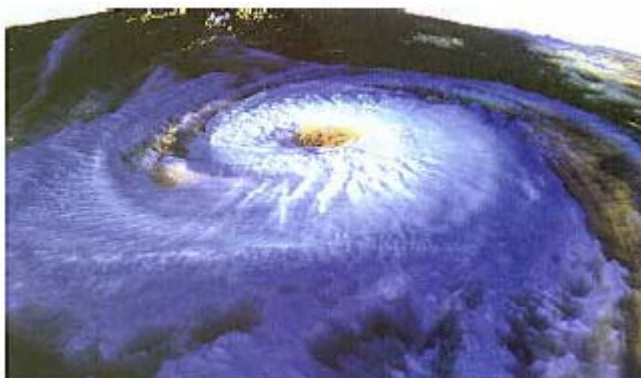


Figura 1. Imagen satelital de un huracán en el Pacífico oriental junto a las costas de California.

CONDICIONES NECESARIAS PARA QUE SE FORME UN CICLON TROPICAL

Temperatura superior a 27° C: A esa temperatura, el agua del océano se está evaporando al nivel acelerado requerido para que se forme el sistema. Es ese proceso de evaporación y la condensación eventual del vapor de agua en forma de nubes el que libera la energía que le da la fuerza al sistema para generar vientos fuertes y lluvia. Y como en las zonas tropicales la temperatura es normalmente alta, constantemente originan el segundo elemento necesario.

Humedad: Como el huracán necesita la energía de evaporación como combustible, tiene que haber mucha humedad, la cual ocurre con mayor facilidad sobre el mar, de modo que su avance e incremento en energía ocurre allí más fácilmente, debilitándose en cambio al llegar a tierra firme.

Viento: La presencia de viento cálido cerca de la superficie del mar permite que haya mucha evaporación y que comience a ascender sin grandes contratiempos, originándose una presión negativa que arrastra al aire en forma de espiral hacia adentro y arriba, permitiendo que continúe el proceso de evaporación. En los altos niveles de la atmósfera los vientos deben estar débiles para que la estructura se mantenga intacta y no se interrumpa este ciclo.

Giro o "spin": La rotación de la tierra eventualmente le da movimiento en forma circular a este sistema, el que comienza a girar y desplazarse como un gigantesco trompo. Este giro se realiza en sentido contrario al de las manecillas del reloj en el hemisferio norte, y en sentido favorable en el hemisferio sur.

EVOLUCIÓN DE UN CICLÓN TROPICAL

Puede ser dividida en las cuatro etapas siguientes:

Nacimiento (depresión tropical). Primero se forma una depresión atmosférica, que se caracteriza porque el viento empieza a aumentar en superficie con una velocidad máxima (media en un minuto) de 62 km/h o menos; las nubes comienzan a organizarse y la presión desciende hasta cerca de las 1000 hPa (hectopascales). En la figura 2 pueden verse los flujos de humedad y calor desde la superficie del mar hacia la atmósfera, que contribuyen a la permanencia del sistema inicial de nubes convectivas.

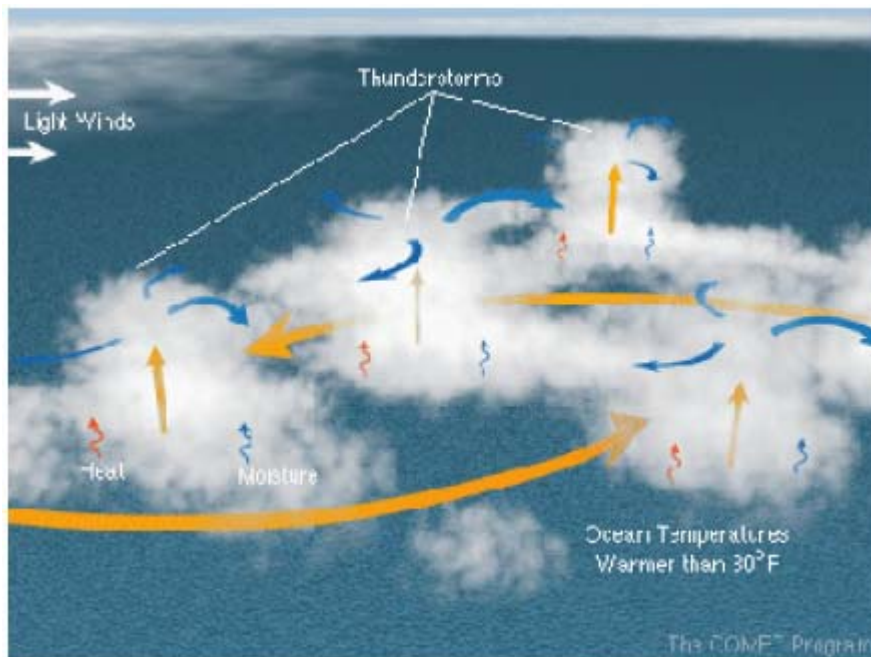


Figura 2.
Esquema que representa el estado inicial de un ciclón tropical.

Desarrollo (tormenta tropical). La depresión tropical crece o se desarrolla y adquiere la característica de tormenta tropical, lo que significa que el viento continúa aumentando a una velocidad máxima de entre 63 y 117 km/h inclusive, las nubes se distribuyen en forma de espiral y empieza a formarse un ojo pequeño, casi siempre en forma circular, y la presión se reduce a menos de 1000 hPa.

En esta fase es cuando recibe un nombre correspondiente a una lista formulada por la Organización Meteorológica Mundial (Comité de Huracanes).

Madurez (huracán). Se intensifica la tormenta tropical y adquiere la característica de Huracán, es decir, el viento alcanza el máximo de la velocidad, pudiendo llegar a 370 km/h, y el área nubosa se expande obteniendo su máxima extensión entre los 500 y 900 km de diámetro, produciendo intensas precipitaciones. El ojo del huracán cuyo diámetro varía entre 24 a 40 km, es un área de calma libre de nubes. La intensidad del ciclón en esta etapa de madurez se gradúa por medio de la escala de Saffir - Simpson.

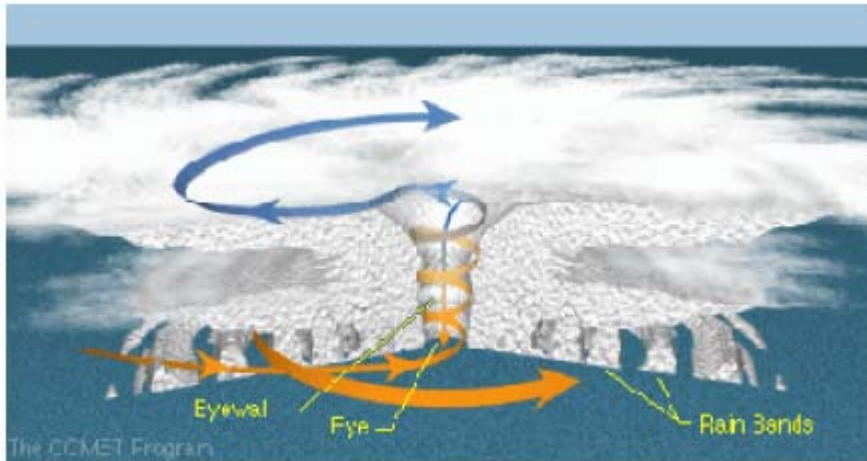


Figura 3.
Estructura de un huracán maduro.

Disipación (fase final). Este inmenso remolino es mantenido y nutrido por el cálido océano hasta que se adentra en aguas más frías o hasta que entra a tierra firme, situación ésta última en la que el ciclón pierde rápidamente su energía y empieza a disolverse debido a la fricción que causa su traslación sobre el terreno.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS CICLONES TROPICALES

Los ciclones tropicales constituyen una clase especial de grandes sistemas de vientos en rotación y poseen características únicas de circulación, completamente distintas de los sistemas ciclónicos típicos de latitudes medias y de los tornados de escala menor, de las trombas marinas y de los remolinos de polvo.

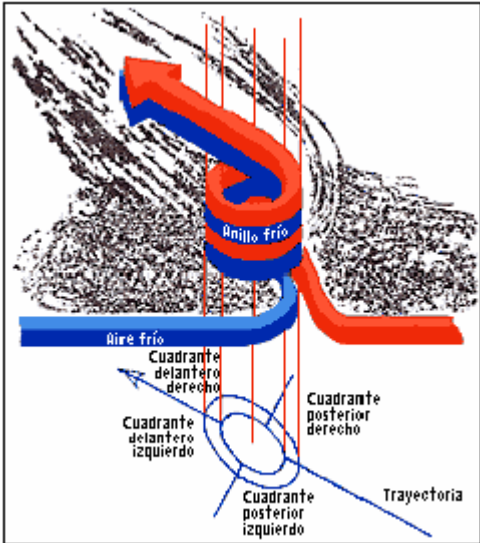


Figura 4. Esquema sencillo de la circulación del viento desde superficie hasta niveles superiores en la pared del ojo de un huracán.

Los ciclones se forman y se intensifican cuando están situados sobre océanos tropicales o subtropicales en ambos hemisferios, en donde la fuerza de rotación de la tierra (Coriolis) es suficientemente fuerte para que se inicie el movimiento de rotación alrededor del centro de baja presión y cuyas temperaturas de agua en el nivel de la superficie son de 27°C o más cálidas. Las regiones ciclogénicas no son estables en cuanto a su ubicación, ya que ésta obedece a la posición de los centros de máximo calentamiento marítimo, los que a su vez están influidos por la deriva de las ramificaciones de la corriente cálida del "Gulf Stream".

Además, no se mantienen por sí mismos sobre tierra, independientemente de la temperatura superficial.

Tienen un núcleo central cálido, se desarrollan en entornos de débil cizalladura vertical del viento y donde su parte central se inclina sólo ligeramente.

Los vientos más fuertes se dan en los niveles bajos, donde el contacto con la superficie terrestre origina una fuerte disipación por rozamiento. Esta disipación aumenta con la potencia de orden dos de la velocidad del viento y por esta razón los ciclones tropicales pueden ser muy destructivos.

El rozamiento introduce en el huracán limitaciones de masa; el flujo hacia el interior en niveles bajos se dirige hacia arriba en las nubes que forman la pared del ojo, rodeando primero el centro y yéndose luego hacia afuera en los niveles superiores.

La circulación radial necesaria hacia adentro, hacia arriba y hacia afuera, precisa que las nubes que constituyen la pared del ojo mantengan un gradiente vertical condicionalmente inestable.

Los huracanes de mayor intensidad mantienen en las paredes del ojo una convección más profunda; esto se realiza en primer lugar situando la mayor parte del calentamiento (condensación) en el núcleo interior justamente en la pared del ojo y, en segundo lugar, por las corrientes ascendentes de la pared del ojo en los niveles superiores.

EL OJO DEL HURACÁN

El "ojo" es un área precisa circular de vientos relativamente livianos y de buen tiempo encontrado en el centro de un ciclón tropical severo. Aunque los vientos sean moderados en el eje de la rotación, los vientos fuertes pueden extenderse bastante

hasta el ojo. Hay poca o ninguna precipitación y a veces se pueden ver el cielo azul o las estrellas. El ojo es la región de presión más baja en la superficie y de temperaturas más cálidas en su parte más alta - la temperatura del ojo puede ser más caliente de 10° C o mayor, en una altura de 12 Km. que el ambiente circundante, pero sólo 0-2° C más caliente en la superficie (Hawkins y Rubsam, 1968) del ciclón tropical. Los ojos tienen tamaños que oscilan entre 8 y 200 Km. de diámetro, pero la mayoría son de aproximadamente 30-60 Km. (Weatherford y Gray, 1988).

El ojo está rodeado por una pared de nubes convectivas que se ubica en el centro de un área circular definida de convección profunda que es la zona de vientos más fuertes en superficie del ciclón tropical (figura 5). El ojo se compone de aire que se hunde y desciende lentamente, mientras la pared del ojo tiene un flujo ascendente en red como resultado de muchas ráfagas moderadas - ocasionalmente fuertes - ascendentes y descendentes. Las temperaturas calientes del ojo ocurren debido al calentamiento compresivo del aire que desciende en esa región. La mayoría de los sondeos tomados dentro del ojo muestran una capa húmeda en los niveles bajos, con una inversión arriba – que sugiere que el descenso de aire en el ojo típicamente no se extiende hasta la superficie del océano, sino que sólo llega hasta alrededor de 1-3 Km. de la superficie.

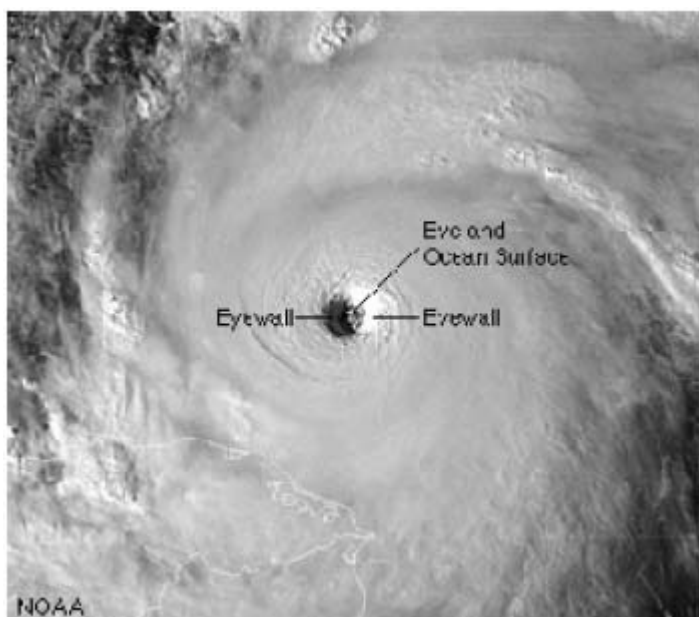


Figura 5. Imagen de satélite donde se muestra la estructura del ojo o vórtice del huracán.

Otra característica de los ciclones tropicales que probablemente juega un papel en la formación y mantenimiento del ojo es la convección de la pared del ojo. La convección en los ciclones tropicales se organiza en bandas largas y estrechas de lluvia que se desplazan en la misma dirección del viento horizontal y que se conocen con el nombre de bandas espirales. A lo largo de estas, el plano bajo de convergencia es máximo, y por lo tanto, el plano alto de divergencia es muy pronunciado en la parte superior. Se desarrolla una circulación directa donde el aire cálido y húmedo converge en la superficie, sube por estas bandas, se separa arriba, y desciende en ambos lados de las mismas. El hundimiento se distribuye sobre un área amplia en el exterior de la banda de lluvias pero se concentra en la pequeña área interior. Según el aire desciende, ocurre el calentamiento adiabático que seca el aire. Debido a que el descenso de aire se concentra en el interior de la banda, el calentamiento adiabático es más fuerte hacia adentro de ésta causando un contraste agudo en los descensos de presión a todo lo largo de la misma, ya que el aire caliente es más liviano que el aire frío. A causa de los descensos de la presión en el interior, los vientos tangentes alrededor del ciclón tropical aumentan debido al aumento en el gradiente de presión.

Con el advenimiento de las imágenes de alta resolución desde satélites meteorológicos, se ha descubierto que en huracanes muy intensos las paredes del ojo se reemplazan, lo que provoca fluctuaciones en su intensidad. Este es un mecanismo dinámico que hasta el momento no tiene una explicación muy clara y aún no es posible simular en modelos.

LA TEMPORADA DE HURACANES

Existe un patrón general más o menos constante, pero que puede variar según las condiciones meteorológicas.

En el Atlántico, Caribe y Golfo de México comienza el 1° de Junio de cada año, debido al calentamiento del agua durante el verano, y se extiende hasta el 30 de Noviembre, aunque ha habido ciclones extemporáneos.

A medida que avanza el verano el sol se va desplazando a latitudes más boreales (hacia el norte) de modo que los huracanes se producen al norte del Caribe y se desplazan, merced al movimiento rotacional de la Tierra, hacia el Oeste, arribando

frecuentemente a la costa Este de Estados Unidos después de haber pasado por los países caribeños, especialmente Puerto Rico, Cuba, Las Bahamas, etc. Primero arriban en la costa de Florida y, a medida que avanza el verano (Agosto - Septiembre) y según la potencia del huracán, pueden llegar a los estados centrales de Estados Unidos e incluso a los más norteños de la costa atlántica y avanzar continente adentro. Al final de la temporada, cuando el agua se comienza a enfriar otra vez, los huracanes se forman nuevamente en el Caribe y el Golfo.

DAÑOS QUE OCASIONAN LOS CICLONES TROPICALES

El ciclón tropical constituye uno de los fenómenos más destructivos de los desastres naturales. Los factores meteorológicos más importantes que producen daño son:

a) La fuerza de los vientos del huracán proyecta o derriba objetos, imprime movimiento a las aguas de los océanos, así como ejerce fuertes presiones sobre superficies y es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad del viento.

b) La marea de tormenta es una elevación temporal del nivel del mar cerca de la costa, que se forma por el paso del área central del huracán, la cual es debida a los fuertes vientos que soplan hacia la tierra y a la diferencia de presión atmosférica entre el ojo del huracán y los alrededores. Esta marea puede alcanzar una altura hasta 6 metros. Asimismo, una pendiente suave del fondo marino puede propiciar la acumulación de agua por el viento y por tanto una marea de tempestad más alta (figura 6). La marea de tormenta o surgencia es máxima en el sector derecho del huracán.

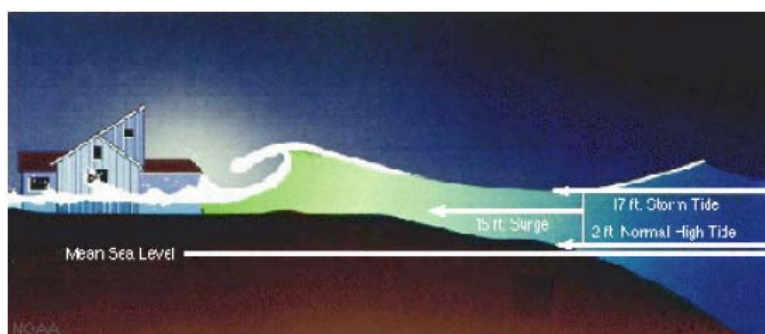


Figura 6. Esquema que representa el incremento del nivel medio del mar por efecto de la marea de tormenta en la zona costera.

c) Las precipitaciones intensas que acompañan a un ciclón tropical pueden causar deslizamientos de tierra, crecidas en los ríos e inundaciones en áreas deprimidas del terreno (figura 7).



Figura 7. Zonas inundadas por las lluvias torrenciales asociadas a un ciclón tropical

.La población de las costas del mundo y el valor de las propiedades costeras han crecido a un ritmo mucho mayor que la población mundial y el valor de las propiedades en conjunto; por lo tanto es inevitable que aumenten con el tiempo los efectos relativos de los ciclones tropicales sobre la humanidad.

GENERALIDADES SOBRE LOS METODOS DE PRONÓSTICO DE TRAYECTORIAS.

El primer paso para pronosticar la trayectoria de un ciclón tropical es la determinación de la posición actual mediante las diferentes fuentes observacionales existentes para fijar el centro de una tormenta. Los mismos se darán a conocer a continuación:

- Observaciones superficiales de estaciones fijas como medio primario para analizar la posición del ciclón tropical en muchos servicios de pronósticos.
- Las observaciones de aviones de reconocimiento (solamente disponibles de forma regular en el Atlántico), aceptados como el método más exacto para obtener la posición del ciclón tropical.
- Las observaciones del radar meteorológico que propician localizaciones relativamente exactas cuando la tormenta está cerca de tierra y el ojo está bien desarrollado. Desafortunadamente el rango del radar típicamente no sobrepasa los 400 Km.

- Las imágenes tomadas desde los satélites meteorológicos, que se han convertido en la fuente más importante de información para localizar un ciclón tropical en todo el globo.
- Las imágenes de microondas, que tienen un valor inestimable cuando el centro está “oscurecido”.

TÉCNICAS SIMPLES DE PREDICCIÓN DEL MOVIMIENTO

Persistencia: El principio básico para asumir esta consideración es que el ciclón tropical tiene una inercia considerable y no puede cambiar rápidamente su trayectoria, según la máxima de que “si el vértice, el flujo a gran escala y los procesos de interacción no cambian, el movimiento futuro debe ser parecido al movimiento pasado”. Esta es una primera aproximación razonable para predecir el movimiento solo a corto plazo, no obstante, a pesar de sus limitantes, casi todas las técnicas de predicción del movimiento incluyen un aspecto persistente.

Climatológico: Asume que el ciclón tropical se moverá con la dirección promedio de todas las tormentas pasadas que estuvieron próximas al lugar donde la tormenta que se analiza actualmente se localiza.

Técnicas de análogos: La suposición básica es que la tormenta se moverá con la velocidad y dirección media de todas las tormentas que han ocurrido en esa región dentro de un intervalo de tiempo centrado en el día en curso. Puede ser estimada como otro tipo de predicción climatológica.

Modelos estadísticos: El predictando de los modelos estadísticos es la componente del movimiento del ciclón tropical sobre algún intervalo futuro de tiempo. Estos modelos establecen su reducción de la varianza de una o más de las siguientes fuentes de información predictivas: climatología, persistencia, análisis de datos del ambiente o pronósticos numéricos.

Entre los diversos modelos estadísticos de predicción de trayectorias, se considera el NHC-83 (estadístico – dinámico) como el más efectivo para el Océano Atlántico norte, ya que tiene errores menores que la gran mayoría de los modelos estadísticos conocidos (CLIPER, NHC-72, NHC-73, etc.) a partir del plazo de 24 horas.

Otro modelo (dinámico- estadístico) es el realizado por Miriam E. Lima donde se predice el movimiento de los ciclones tropicales desde 12 hasta 72 horas.

Se cuenta en total con 2383 situaciones de pronóstico de los ciclones tropicales que han alcanzado al menos categoría de tormenta tropical.

Se definió como área de interés para Cuba la comprendida entre 62.5° W–95° W y 8° N–25° N teniendo en cuenta el área que abarca el modelo dinámico en uso operativo y los límites de ubicación geográfica de los ciclones tropicales que han afectado a Cuba de forma directa, reduciendo la información disponible a solo 383 situaciones de pronóstico para obtención de las ecuaciones. La información utilizada para la obtención de estas tiene las siguientes características medias: huracán categoría 1 en la escala Saffir - Simpson con vientos máximos de 123 km/h y ubicado en 18.5°N y 74.5°W.

Se escogió el nivel de 700 hPa considerando experiencias anteriores en el desarrollo de métodos estadísticos resultando este nivel como el más representativo de la corriente de arrastre, siempre que la circulación ciclónica no sobrepase los 500 hPa.

Se utilizó la técnica del pronóstico perfecto para obtener las ecuaciones de pronóstico, consistiendo en utilizar la información real de los plazos de tiempo futuros como la información pronóstico para el desarrollo de las mismas. En el uso operativo, la información real se sustituye por la información pronóstico.

Esta técnica tiene como principal ventaja que al poderse utilizar la salida de cualquier modelo dinámico de pronóstico de campo toda mejora en dichos modelos dinámicos queda introducida en el método dinámico - estadístico. Su desventaja es que los errores del modelo de pronóstico de campo utilizado se incorporan también al pronóstico del ciclón tropical.

PREDICCIÓN CON MODELOS DINÁMICOS

Dada la importancia de los factores diabáticos surge la necesidad de investigar las posibilidades de aplicación de modelos de mayor complejidad, ya que hasta ese entonces existía solo la versión diabática para pronósticos a corto plazo. Así se inicia la asimilación de un modelo a mesoescala de alta resolución en colaboración con especialistas mexicanos.

En colaboración con especialistas de la Universidad Autónoma de México en marzo del 2002 se asimilo el MM5V3, acorde con los avances de la técnica actual.

Para una corrida en tiempo presente, se alimenta con las salidas de cada seis horas del modelo global de aviación (AVN), correspondiendo al los campos de geopotencial, temperatura, humedad relativa y las componentes del viento en los niveles de 1000, 850, 700, 500, 400, 300, 200, 150, 100 Mb.

Tomando en cuenta las características físico- geográficas de Cuba y su posición en la zona central de los mares Interamericanos, se definieron dos dominios anidados, en proyección Lambert con coordenadas centrales en los 23 N y los 80 W. El dominio exterior presenta una malla de 30 x 42, con pasos de 75 Km. y el interior de 31x58 con pasos de 25 Km. Esta área se extiende de manera tal que las salidas del modelo pueden mostrar con suficiente detalle los fenómenos meteorológicos que afectan a la isla, tanto los provenientes del continente y del Golfo de México como los que circulan por el Caribe y la zona Sur –Occidental del Atlántico Norte, mientras que el dominio interior incluye el territorio de todo el archipiélago y aguas aledañas.

Se aplico la aproximación no hidrostática, con parametrizaciones de la convección profunda del transporte turbulento de la interacción con la superficie subyacentes y de la radiación. En la matriz de uso de suelo, se diferencian trece tipos de superficies subyacentes. Se pronostica la temperatura del suelo a partir del balance térmico superficial.

Las condiciones de cómputo actuales favorecieron la rapidez en las corridas. Ahora la demora promedio es de una hora con cuarenta minutos.

Gran avance se ha tenido en la predicción de los sistemas circulatorios de latitudes medias mediante modelos numéricos. Los avances en exactitud de las predicciones a corto plazo (6 – 12 horas) y las mejoras en los procedimientos de inicialización ha llevado a la implementación de sistemas cuatro – dimensionales de asimilación de datos que utilizan el cicloanálisis – pronóstico – análisis para mejorar la representación del estado inicial de la atmósfera.

La exactitud de los pronósticos numéricos de 72 horas en latitudes medias es actualmente equivalente a la de los pronósticos de 36 horas de hace más de una década. También se han logrado mejoras más allá de las 72 horas, haciéndose útiles los pronósticos de plazo medio (72 horas a 10 días). En contraste, las mejoras

en la exactitud de los pronósticos en sistemas circulatorios tropicales han sido lentas, por eso deberán ser empleadas con reserva en la zona tropical para el pronóstico de trayectorias de ciclones tropicales.

Algunos de los modelos dinámicos en uso son los modelos barotrópicos, los modelos baroclínicos regionales y los modelos baroclínicos globales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del análisis de algunos de los métodos de pronósticos de trayectoria de los ciclones tropicales en uso se deduce que para la zona tropical los mejores resultados se obtienen con los métodos estadísticos especialmente el NHC-83 el cual ha demostrado una elevada efectividad en los Centros de Huracanes de la región incluido el de Cuba.

Se recomienda que los modelos dinámicos debieran emplearse con reserva en plazo hasta 36 horas.

BIBLIOGRAFÍA

Hurricanes Basics (1999) por The COMET program, the University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), and the Federal Emergency Management Agency (FEMA), 19 pp. www.nhc.noaa.gov

Instituto de Meteorología – Grupo Nacional de Cambio Climático (2001). Primera comunicación nacional de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

Limia, M. (2002). Modelo dinámico – estadístico para la predicción del movimiento de los ciclones tropicales desde 12 hasta 72 horas. Revista Cubana de Meteorología, Vol. 9. No. 1. Ciudad de La Habana.

Mitriani, I; C. González; I. Borrajero; L. Álvarez (2004). El uso de MM5V3 en la predicción de eventos peligrosos sobre el territorio cubano. Memorias de la Convención Trópico 2004 (Edición Electrónica). Ciudad de la Habana.

Pérez, R. (1999). Meteorología Tropical. Capítulo 5. Libro de texto (inédito). Instituto de Meteorología.