

servicio meteorológico sufre las consecuencias del estancamiento científico heredado de la etapa anterior, y, posteriormente, las limitaciones del bloqueo impuesto a Cuba por el gobierno de los Estados Unidos de América, que impidió, entre otras operaciones, las compras de material científico en el exterior. En 1965, el Servicio Meteorológico Nacional pasa a formar parte de la Comisión Nacional de la Academia de Ciencias de Cuba, constituida en 1962, y por iniciativa de su presidente, el Dr. Antonio Núñez Jiménez (1923-1998), se crea el Instituto de Meteorología el 2 de septiembre de 1965. A lo largo de su historia, este centro ha elevado notablemente el nivel científico de la Meteorología y la Climatología en Cuba. El Instituto introdujo de inmediato medios técnicos tan avanzados como las redes de radares meteorológicos (1966), los satélites para la observación y la teledetección (1969), la informática (1982), y la modelación matemática computadorizada. En 1963 se dieron los primeros pasos dirigidos al desarrollo de un programa de colaboración científica con la entonces Unión Soviética, que llegó a su más acaba expresión con la creación del Laboratorio Conjunto Cubano- Soviético para la Meteorología Tropical. A la vez, Cuba se ha insertado en diversos programas de investigación, coauspiciados principalmente por agencias internacionales del sistema de las Naciones Unidas, y ha prestado su colaboración en la formación de meteorólogos de diversas naciones. Nuestro país es miembro fundador de la Organización Meteorológica Mundial (1950).

El 13 de enero de 1981 marcó el inicio de la presentación regular del pronóstico del tiempo, con la presencia física de meteorólogos ante las cámaras de la televisión nacional. El Instituto de Meteorología trabaja actualmente en el perfeccionamiento continuo de los pronósticos del tiempo, y en un amplio espectro de investigaciones dirigidas al mejor conocimiento del clima de Cuba, su variabilidad y sus cambios, a los estudios agrometeorológicos, a la ciclología tropical y a muchos otros fenómenos que involucran a la atmósfera y los océanos.

El Instituto ha sido un centro formador de especialistas que han fortalecido notablemente el potencial científico del país. La Escuela de Meteorología (1965) generó su primera graduación de meteorólogos de nivel superior en 1968, y debe su fundación al Dr. Mario Emilio Rodríguez Ramírez (1911-1996), quien, como director del Instituto, estuvo al frente de un destacado grupo de jóvenes formados durante largos años de intenso trabajo. Estos científicos, técnicos, y observadores meteorológicos, sobreponiéndose a las dificultades de índole material con inteligencia y tesón, han forjado las bases de la meteorología cubana contemporánea.

1. METEOROLOGÍA

La Atmósfera

Gases que componen la atmósfera

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve la Tierra y que permanece "atrapada" a la misma por la fuerza gravitacional. Es extremadamente delgada en comparación a la dimensión del planeta, cuyo radio aproximado es de 6 400 km. Así, un poco más de 90 % de la masa de la atmósfera, se concentra en los primeros 20 km sobre la superficie.

Cerca de la superficie terrestre la atmósfera seca (sin vapor de agua) está compuesta en 99 % de su volumen por nitrógeno (78,1 %) y oxígeno (20,9 %). El 1 % restante se reparte entre un conjunto de otros gases, entre los cuales se destacan el argón (A) con una concentración de 0,93 %, el anhídrido carbónico (CO_2) con 0,033 % y otros como el neon (Ne) y el helio (He) con concentraciones aún menores. También están presentes en este 1 %, partículas de polvo, sal, polen, etcétera.

Aparte de estos gases, que mantienen una concentración más o menos constante en los primeros 80 km sobre la superficie, la atmósfera terrestre contiene también una concentración variable (entre 1 y 4 % del volumen total) de vapor de agua (H_2O). Este se incorpora a la atmósfera mediante el proceso de evaporación desde la superficie, y es "removido" en ella, mediante el proceso de condensación en las nubes, y su posterior precipitación en forma líquida (lluvia) o sólida (nieve o granizo).

Capas de la atmósfera

La atmósfera está dividida en capas, según el comportamiento vertical de las temperaturas en cada una de ellas (figura 1).

En la capa más cercana a la superficie, denominada troposfera, que se extiende hasta 12 km sobre ella (unos 19 km en el Ecuador y unos 9 km sobre los Polos), la temperatura disminuye a una tasa promedio de 6,5 °C por kilómetro. En esta capa, que concentra 80 % de toda la masa de la atmósfera, ocurren los fenómenos meteorológicos más relevantes. En el límite superior de la troposfera, denominado tropopausa, la temperatura deja de disminuir y alcanza valores cercanos a -55 °C. Los cambios entre la troposfera y la capa inmediata superior, son denotados por los topes de las nubes CúmuloNimbus.

Por encima de la troposfera se encuentra la estratosfera, que se extiende hasta unos 45 km. Aquí se encuentra la capa de Ozono (O_3), también llamada Ozonosfera, la que se localiza aproximadamente entre los 20 y 30 km. La importancia de la capa de Ozono radica en que absorbe las radiaciones ultravioletas de la energía radiante que llega del Sol.

En la Estratosfera la temperatura aumenta con la altura, hasta un valor cercano a 0 °C en su límite superior, denominado estratopausa, muy cerca ya de los 50 km de altura.

Por encima de la Estratosfera la temperatura disminuye con la altura, define así la capa denominada mesosfera, la cual culmina a unos 80 km de altitud donde la temperatura es del orden de -90 °C (mesopausa). En la Mesosfera se encuentra la Ionosfera, que se caracteriza por una elevada concentración de iones y electrones libres que favorecen las comunicaciones por medio de las ondas cortas y largas. Precisamente aquí se originan las auroras boreales, fenómeno luminiscente comúnmente visible en las altas latitudes.

Inversión de temperatura

La capa de la atmósfera en la cual la temperatura se incrementa con la altura, recibe el nombre de capa de inversión. La inversión es un fenómeno que se presenta cuando el patrón normal de temperatura en la atmósfera se comporta de forma contraria, es decir, aumenta con la altitud. La presencia de una inversión provoca estabilidad en la atmósfera.

El aire sobre la capa de inversión es más caliente y seco que el aire por debajo de ella. Las inversiones suprimen la convección y limitan la altura de las nubes convectivas. Cuando las inversiones se presentan en los niveles bajos de la atmósfera, con frecuencia tienen asociados nieblas.

Las nubes: clasificación básica. Condiciones para su formación

El tiempo reinante depende mucho del tipo de nubes que se formen en el cielo, y por eso los meteorólogos se interesan por el estudio de la estructura y evolución de las mismas. Con el fin de facilitar su estudio,

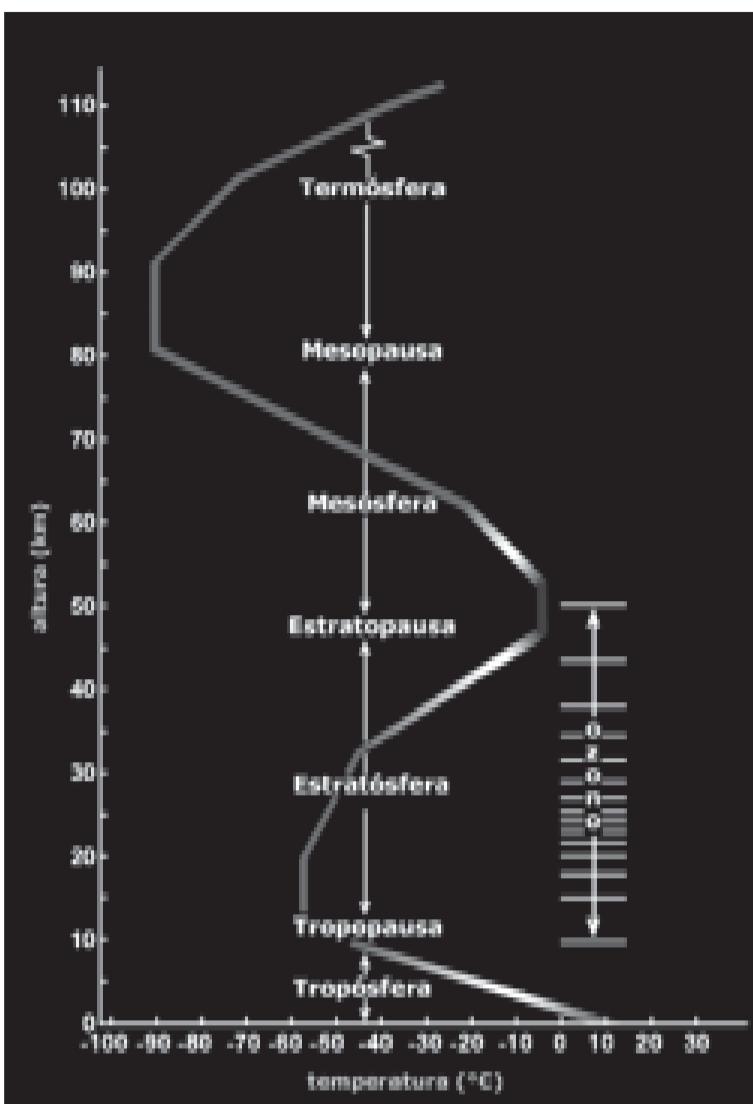


Fig.1. Capas de la atmósfera.

los científicos han clasificado a las nubes de distintas formas; por ejemplo, por su aspecto y por la altura a la que se encuentran.

Se llama nube a un conjunto visible de pequeñas partículas, como gotas de agua y/o cristales de hielo que se encuentran suspendidos en el aire libre. La nube se forma en la atmósfera debido a la condensación del vapor de agua sobre partículas de humo, polvo y otros elementos que en conjunto se conocen como núcleos de condensación, o sea, la partícula sobre la que se produce la condensación del vapor de agua existente en la atmósfera. Los núcleos se pueden presentar en estado sólido o líquido.

Para un mejor conocimiento de las nubes es necesario recordar que el agua está en constante transformación y pasa por tres procesos importantes: evaporación, condensación y precipitación, los cuales en conjunto se conocen como el ciclo hidrológico. Las nubes son el producto de la condensación del agua cuando por algún mecanismo el aire húmedo sube y se enfriá. Es importante aclarar que las nubes no están hechas únicamente de vapor de agua, sino que además están conformadas por gotas de agua y/o cristales de hielo que por su tamaño, forma y peso se encuentran suspendidas en el aire, tal y como se plantea en el párrafo anterior.

Las nubes se clasifican atendiendo a su aspecto, altura de la parte más baja o base de la nube, o según su género.

En cuanto a su aspecto, las nubes se clasifican en: Estratiformes: Se desarrollan horizontalmente con poco espesor vertical y se extienden como un manto uniforme en el cielo, cubriendo una gran área. La lluvia asociada a ella es de carácter leve o continuo.

Cumuliformes: Se desarrollan verticalmente en grandes extensiones, surgen como nubes aisladas y por lo general la lluvia es de fuerte intensidad, pero de carácter local. Las lluvias que se asocian a ellas pueden ser líquidas (compuestas por gotas de agua), sólidas (compuestas por cristales de hielo) o mixtas (compuestas por gotas de agua y cristales de hielo).

Esta nomenclatura está basada en los nombres latinos stratus (allanado o extendido) y cúmulos (cúmulo o montón).

Según la altura de la parte más baja de la nube (base), se clasifican en:

Nubes Altas: Son aquellas que tienen la base a más de 6 km de altura. Están conformadas por cristales de hielo.

Nubes Medianas: Tienen la base entre 2 y 4 km de altura en los polos, entre 2 y 7 km en latitudes medias, entre 2 y 8 km en el trópico. Están conformadas por cristales y gotas de agua.

Nubes Bajas: La base está a unos 2 km de altura. Están compuestas por gotas líquidas.

Las nubes se clasifican, además, en diez tipos principales denominados géneros, estos a su vez se subdividen en especies y variedades. Por esta razón se dice que las nubes son como las familias, donde cada una de ellas tiene su nombre y apellido. Se acostumbra expresar los distintos géneros de nubes según la altura a la que con mayor frecuencia se desarrollan sus bases. Así, los géneros de nubes se distribuyen según la altura de sus bases en:

Nubes bajas: Cumulus (Cu), stratus (St), stratocumulus (Sc), cumulonimbus (Cb).

Nubes medianas: Altocumulus (Ac), altostratus (As) y nimbostratus (Ns).

Nubes altas: Cirrus (Ci), cirrostratus (Cs) (ver Figura 2) y cirrocumulus (Cc).

Nubes de desarrollo vertical: Cumulonimbus (Cb).

Suele clasificarse al cumulonimbus como un tipo especial de nube (nubes de desarrollo vertical), pues por sus dimensiones verticales y características físicas muy particulares, se distingue de todas las demás; algunos han dado por llamarle «la madre de las nubes».

La precipitación

Como ya fue mencionado, el ciclo del agua en la atmósfera consta de tres procesos: evaporación, condensación y precipitación. El proceso de condensación consiste en la acumulación de moléculas de vapor de agua en forma de gotas extraordinariamente pequeñas, las que generalmente conforman pequeños núcleos de condensación.

En cambio durante el proceso de precipitación se reúnen tales gotas de agua para formar gotas, cristales de hielo o agrupaciones de ellos del tamaño de las gotas de lluvia. Una gota de lluvia tiene el tamaño de 1 000 m, mientras que una gota formada dentro de una nube mide 20 m como promedio.

La precipitación es el proceso de caída de las gotas de agua que descienden de una nube y atendiendo al tamaño y carácter de la gota de agua, bien sea en forma de gota de agua o cristal de hielo, puede tomar la forma de lluvia, llovizna, granizo o nieve.

Las precipitaciones, según su origen pueden ser: frontales, convectivas, u orográficas. Las frontales están vinculadas a diferentes tipos de frentes, debido al levantamiento que sufren las masas de aire cuando interactúan a lo largo de una frontera entre masas de aire de diferente temperatura y humedad. Las precipitaciones convectivas son las que se producen como resultado del calentamiento local de una masa de aire

homogénea con la elevación y condensación del aire húmedo. Por último, las de origen orográfico ocurren debido al levantamiento local que sufre una masa de aire al cruzar una cadena montañosa o una elevación suficientemente vigorosa para producir el levantamiento de las corrientes de aire húmedo hasta alturas donde se produce la condensación.



Fig. 2. Nubes de cirrostratus formando halo Solar.

tamiento de las corrientes de aire húmedo hasta alturas donde se produce la condensación.

Niebla y bruma

Se llama niebla a la manifestación visible de gotas de agua suspendidas en la atmósfera cerca de la superficie de la tierra, esta reduce la visibilidad horizontal a menos de un kilómetro. La niebla se origina cuando la temperatura y el punto del rocío del aire presentan valores similares, la humedad relativa llega a ser de 100 %, y existen suficientes núcleos de condensación. Las nieblas pueden ser de irradiación y de advección según los procesos por los que se produzcan. Las de irradiación son ocasionadas por el enfriamiento que sufre el aire cuando se estanca y pierde calor durante horas nocturnas, esto provoca que aumente la humedad relativa y llegue a la saturación. Por su parte las de advección se originan cuando el aire se traslada hacia una región más fría, cede calor a la superficie subyacente y se satura, produciendo así la condensación del vapor de agua en forma de niebla; tales nieblas son frecuentes en el mar.

Las nieblas se forman frecuentemente en llanuras, cuando el viento está en calma y la humedad relativa es alta. También se forman en las laderas de las montañas y en los valles intramontanos y cerrados.

La bruma es una disminución de la visibilidad que ocurre debido al contenido de partículas de polvo y humo en suspensión en las capas bajas de la atmósfera. Cuando la bruma llega a su máxima expresión la visibilidad se reduce hasta cientos o decenas de metros, de manera similar a como ocurre bajo una niebla espesa. Frecuentemente bajo la bruma la visibilidad es mayor que 1 km. Se observa frecuentemente en las estepas y desiertos, mientras que en las grandes ciudades la bruma está relacionada con la contaminación del aire debida al humo, polvo y otros aerosoles del entorno circundante.

Sondeo meteorológico

Tanto a los fines de su utilización en el pronóstico del tiempo como en general del estudio de la atmósfera, no

es suficiente tener datos de su estado en la superficie, sino que es imprescindible conocer el estado de las capas superiores de la atmósfera. Los primeros lanzamientos científicos de globos sondas se hicieron en París, Francia, en 1803 y poco más de cien años después comenzaron a realizarse desde aviones equipados con instrumentos, lo que permitió recolectar datos de temperatura y humedad en las capas superiores de la atmósfera.

El sondeo meteorológico se hace mediante un globo sonda, a veces llamado también globo piloto, un pequeño globo de goma que está inflado con un gas más ligero que el aire como lo es el hidrógeno o el helio. Este globo se eleva verticalmente y es arrastrado por las corrientes horizontales de aire, de forma tal que su movimiento se observa con un instrumento óptico llamado teodolito anotándose el acimut o ángulo de altura. Para co-

nocer su altura real se utiliza una fórmula trigonométrica y se estima la posición del globo en el espacio, calculándose la dirección y velocidad del viento en cada capa mediante las diferentes posiciones del globo.

En la actualidad los avances tecnológicos han permitido realizar sondeos de la atmósfera mediante la técnica de los satélites meteorológicos, aunque se mantienen los sondeos mediante radiosondas por ser todavía los de mayor precisión y una herramienta fundamental para conocer el comportamiento de la atmósfera en la vertical.

Instrumentos y observaciones meteorológicas

Todo estudio de la atmósfera requiere disponer, ante todo, de datos meteorológicos precisos. Nuestros sentidos, principalmente la vista y el tacto, permiten estimar un gran número de observaciones. Estas se denominan observaciones sensoriales. Sin embargo, no son suficientes y se necesita recurrir a instrumentos que permitan la medición de las diferentes magnitudes físicas de la atmósfera.

Los instrumentos meteorológicos que se emplean para las observaciones en la superficie de la tierra están instalados en las estaciones meteorológicas de superficie, entre las que se incluyen las estaciones móviles situadas en buques que navegan por alta mar. Para las observaciones de la atmósfera superior se emplean diferentes instrumentos que viajan a bordo de radiosondas, a bordo de aviones de reconocimiento meteorológico, o los que son lanzados desde estos. Finalmente, también existen los instrumentos que permiten la detección remota de fenómenos meteorológicos, como son las observaciones desde los satélites y las estaciones de radar.

Los elementos que se miden con ayuda de los instrumentos en las estaciones de superficie son los siguientes:

- a) Duración de la insolación o brillo solar.
- b) Temperatura del aire, del agua y del suelo.

1835. Coriolis (Gustave-Gaspard). Físico francés que estudió la desviación que experimenta una partícula cuando se desplaza en un sistema que está girando. Todas las partículas que se mueven en el hemisferio septentrional tienden a desviarse hacia la derecha, mientras que en el hemisferio meridional se desvían hacia la izquierda (fuerza de Coriolis). Este efecto es función de la latitud del lugar y, entre otras cuestiones, explica la inclinación de los alisios, los movimientos del aire en bajas presiones, ciclones, anticiclones, etc.

- c) Presión atmosférica.
- d) Humedad.
- e) Velocidad y dirección del viento.
- f) Altura de la base de las nubes.
- g) Cantidad de lluvia.
- h) Cantidad de evaporación.
- i) Radiación solar.

Los instrumentos meteorológicos utilizados en el estudio de la atmósfera con fines científicos, deben cumplir los siguientes requisitos: regularidad en el funcionamiento, precisión, sencillez en el diseño, comodidad de manejo y solidez de construcción. Su emplazamiento deberá ser tal que sea representativo de las condiciones del medio que le rodea, puesto que será necesario evitar toda influencia inmediata de árboles o edificios. Estos instrumentos pueden dividirse en: instrumentos de lectura directa y aparatos registradores. Los instrumentos de lectura directa como el termómetro y el psicrómetro son más precisos, pero cada medida necesita una lectura. Los instrumentos registradores (figura 3), registran en un gráfico la lectura de la variable meteorológica en cada momento, por lo que con ese registro continuo puede conocerse el valor, por ejemplo, de la presión en cada instante, así como su distribución en el tiempo.

A continuación se presenta una tabla con los instrumentos meteorológicos más comunes, así como una breve descripción de los mismos.

Una parte importante de los instrumentos que miden la temperatura y la humedad están instalados en una caja o abrigo meteorológico, esto es, una pequeña caja de paredes de madera, puerta y fondo de do-

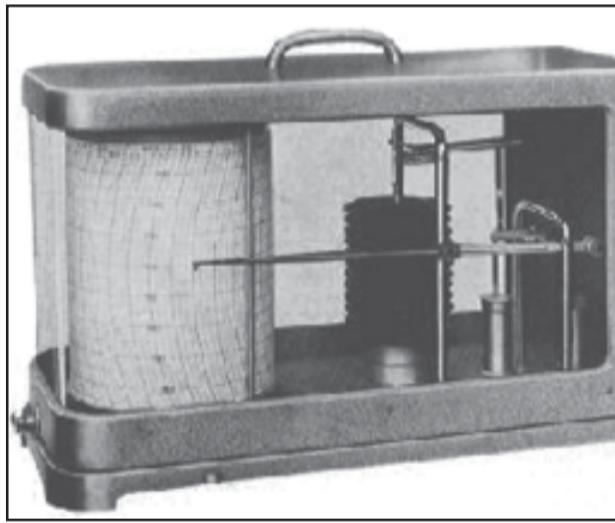


Fig. 3. Barógrafo, instrumento registrador de la presión atmosférica.

ble persiana que favorece la ventilación interior e impide que la radiación solar afecte los instrumentos colocados en su interior. Debe estar pintada de blanco. La caja meteorológica está situada en la plazoleta meteorológica, donde están ubicados otros instrumentos como el pluviógrafo, el anemorumbógrafo, el heliógrafo y otros.

Sistema de Observación Meteorológica

Todas las observaciones realizadas por las estaciones meteorológicas, así como las efectuadas por los barcos, estaciones automáticas y de sondeos de la atmósfera, se consignan en mensajes cifrados que se basan en un código llamado código sinóptico. Las observaciones contenidas en estos mensajes son transmitidas desde las estaciones meteorológicas a los Centros Meteorológicos Nacionales (CMN), y de éstos a los Centros Meteorológicos Regionales (CMR), desde donde se transmiten hasta los Centros Meteorológicos Mundiales (CMM). De esta manera los datos meteorológicos circulan por todo el planeta en el breve espacio de una a dos horas después de que fueron observados o medidos.

Todos los datos recopilados son observaciones sincrónicas, o sea, realizadas simultáneamente, en el

mismo instante, sea cual sea el punto del planeta en que se encuentre la estación meteorológica. Para ello se emplea la hora Z o, lo que es igual, la Hora Universal Coordenada (UTC). Estos datos se difunden en sólo minutos a todos los centros meteorológicos del planeta para los diferentes análisis de diagnóstico y punto de partida de los pronósticos del tiempo.

Los satélites meteorológicos y el pronóstico del tiempo

El conocimiento de los procesos de radiación en la atmósfera, particularmente cuando ellos involucran intercambio de calor entre la superficie terrestre y su atmósfera envolvente, es muy importante en muchas fases del trabajo meteorológico, así como en la construcción de los distintos equipos que se encuentran a bordo de los satélites.

El espectro del Sol tiene su máximo de emisión en las longitudes del espectro visible, pero un poco más de

la mitad de la emisión total está fuera de este rango, en las longitudes infrarroja y ultravioleta. Las longitudes de onda de mayor reflectividad caen principalmente en el espectro visible. Utilizando la Ley de Planck y tomando como temperatura del Sol $6\,000^{\circ}\text{K}$, se obtiene que el máximo de emisión del mismo se halla dentro de la parte visible del espectro (0,48 mm) y la Tierra, con una temperatura de $200 - 300^{\circ}\text{K}$, tiene su máximo en la región infrarroja del espectro electromagnético (10 y 14 mm). Por tanto, se tiene que la radiación solar es reflejada apreciablemente, mientras que la reflexión de la radiación de onda larga de la Tierra y su atmósfera puede ser despreciada. La reflectividad en general es llamada albedo.

Las nubes absorben la radiación terrestre con mayor efectividad. Los gases atmosféricos, incluyendo el vapor de agua, son absorbentes selectivos y absorben algunas longitudes de onda, pero son transparentes a otras. Por ventanas atmosféricas se conocen a aquellas regiones del espectro, que son casi transparentes a la radiación terrestre y son los luga-

Tabla 1. Instrumentos meteorológicos más comunes.

Elemento a medir	Nombre del instrumento	Tipo del instrumento	Acción que ejecuta	Unidades
Presión Atmósferica	Barómetro de mercurio	Lectura directa	Equilibra el peso de una columna de mercurio con la presión ejercida por la columna de aire	Milímetro de mercurio (mm), hectoPascal, (hPa)
	Barómetro aneroide	Lectura directa	Mide la presión ejercida por la columna de aire por medio de la deformación de una cápsula en la que se ha creado un vacío (cápsula aneroide)	Idem
	Barógrafo	Registrador	Registra la presión atmósferica	Idem
	Microbarógrafo	Registrador	Igual al barógrafo, pero la escala de registro es más amplia	Idem
Temperatura	Termómetro	Lectura directa	Por dilatación de una columna de mercurio o alcohol	Grados Calsius ($^{\circ}\text{C}$)
	Termógrafo	Registrador	Dilatación de par metálico	Idem
Viento	Anemómetro	Lectura directa	Registra la velocidad del viento mediante giros de un eje con cazoletas y la dirección mediante una veleta	Metros por segundo (m/s), Kilómetros por hora (km/h) Dirección en 360 grados
	Anemorumbógrafo	Registrador	Registra la velocidad del viento mediante giros de un eje con cazoletas, la dirección mediante una veleta o también de la presión dinámica del viento	Idem
Evaporación	Evaporímetro	Lectura directa	Tanque de evaporación en que se mide el nivel de agua evaporada	Mililitro (ml), milímetro (mm)
	Higrómetro	Lectura directa	Mediante alargamiento de cabello u otro material sensible a la humedad	Porcentaje (%)
	Psicrómetro	Lectura directa	Mediante la lectura de termómetro seco y húmedo y búsqueda de diferencia en tablas	Idem
	Higrógrafo	Registrador	Mediante alargamiento de cabello u otro material sensible a la humedad, registra en gráfico la variación continua	Idem
Humedad relativa	Pluviómetro	Lectura directa	Mediante altura de agua colectada en probeta	Milímetros (mm)
	Pluviógrafo	Registrador	Igual, pero registra gráfico de distribución en el tiempo de la lluvia caída	Idem
Insolación	Heliógrafo	Registrador	Mediante lente esférica se quema papel de registro por la acción del Sol	Horas de luz solar
Radiación solar	Piranómetro	Lectura directa	Sensor eléctrico para medir radiación solar directa y difusa	$\text{Cal.cm}^{-2}.\text{mm}^{-1}$
	Pirheliometrógrafo	Registrador	Igual, pero con sistema registrador	Idem

res para los cuales están diseñados los instrumentos encargados de tomar imágenes de la cubierta nubosa y de la superficie terrestre, ya que el efecto de atenuación de la absorción atmosférica está minimizado en esas regiones. La radiación infrarroja, detectada por el satélite en esas bandas, está relacionada directamente con la temperatura de emisión de la tierra, el agua y las nubes.

Tipos de satélites meteorológicos, características de la información y aplicaciones

Literalmente existe un número infinito de órbitas para un satélite de la Tierra. Aunque se tienen órbitas especiales que están designadas para propósitos específicos, hay dos clases generales ampliamente utilizadas para las observaciones meteorológicas de la Tierra: las órbitas geoestacionarias y las órbitas cercanas al polo, las cuales normalmente son referidas como órbitas polares.

Satélites de órbita polar

Los satélites de órbita polar pasan aproximadamente sobre los polos a alturas cercanas a los 850 km. Ellos observan toda la superficie terrestre y siguen órbitas casi fijas en el espacio, mientras que la Tierra rota por debajo. Las áreas barridas a cada paso son casi adyacentes en el ecuador en pasos consecutivos.

Satélites geoestacionarios

Los satélites geoestacionarios orbitan alrededor de la Tierra sobre el Ecuador a una altura aproximada de 35 800 km. Ellos completan una órbita cada 24 h, de manera que su rotación es sincrónica con la de la Tierra alrededor de su propio eje, y por tanto permanecen en el mismo lugar sobre el Ecuador. Estos examinan el disco completo de la Tierra en unos 25 min. Su principal ventaja radica precisamente en la alta resolución temporal de los datos. Una imagen actualizada del disco completo se tiene cada 30 min y el modo de examen se puede alterar para observar una pequeña área seleccionada con mayor frecuencia, en dependencia del modo de operación básico (rutinario o de aviso).

La principal desventaja de estos satélites es su limitada resolución espacial, lo cual es una consecuencia de la distancia a que se encuentran de la Tierra. Los avances técnicos brindarán mejoras al respecto, pero no reducirán la distorsión de las imágenes en altas latitudes, que resulta de la visión de la Tierra al incrementarse la oblicuidad del ángulo visual. La información útil se restringe a la franja entre los 70° de latitud Norte y los 70° de latitud Sur.

Aplicaciones de los satélites meteorológicos

En general, los satélites meteorológicos están destinados a cumplir distintas misiones para satisfacer las necesidades de los pronosticadores del tiempo, como son la representación de la Tierra en imágenes, los productos que de ellas se derivan, los sondeos atmosféricos y la colección y diseminación de los datos. La información satelitaria también se puede utilizar en la Climatología, en casos de estudio de fenómenos excepcionales, en la inicialización y validación de modelos globales; en los estudios del balance de

radiación de la física de las nubes, de la interacción océano – atmósfera y de la circulación oceánica y sus efectos en los patrones de tiempo y cambios globales. Entre todas las herramientas, las fundamentales para los pronosticadores son las imágenes en los espectros VIS, IR y WV, que además de permitir el análisis de la nubosidad y las precipitaciones, se pueden determinar los vectores de viento, temperatura superficial del mar, humedad en la troposfera superior y la altura de los topes nubosos.

Imágenes visibles (VIS)

En las imágenes VIS, según sea la radiación reflejada de la cual depende el albedo, los tonos más oscuros representan la brillantez baja y los tonos más claros la alta. La brillantez depende de la intensidad de los rayos solares y de las posiciones relativas del Sol y el satélite con respecto a la Tierra. Las imágenes VIS son útiles para distinguir entre el mar, la tierra y las nubes. Los mares y lagos aparecen oscuros en las imágenes VIS por tener un albedo bajo. En general, la tierra aparece más brillante que los mares pero más oscura que las nubes. El albedo de la tierra varía ampliamente según el tipo de superficie. Los desiertos pueden aparecer muy brillantes en contraste con las oscuras áreas boscosas.

La brillantez o albedo depende de las propiedades físicas de las nubes, esto significa que las nubes de gran profundidad, con alto contenido de agua (hielo) y gotas pequeñas como promedio tienen un albedo alto; mientras que las poco profundas, con bajo contenido de agua (hielo) y grandes gotas como promedio tienen un albedo bajo.

En estas imágenes se pueden apreciar áreas de sombra y brillo en aquellos lugares donde el Sol ilumina de forma oblicua a las nubes. Esto sirve para identificar la estructura de la nube. Por ejemplo, la sombra proyectada por una capa de nube superior hacia una más baja, no revela solo la estructura vertical, sino también identifica el borde de la capa superior. Las imágenes VIS también sirven para identificar las nieblas en las horas diurnas, la bruma, el humo y el polvo.

Imágenes infrarrojas (IR)

Las imágenes IR indican la temperatura de la superficie radiante. Observadas en blanco y negro, las áreas calientes se muestran en tonos oscuros y las áreas frías en tonos claros. Las nubes generalmente aparecen más blancas que la superficie terrestre debido a que tienen temperaturas más bajas. Al respecto, las imágenes IR y VIS tienen algunas semejanzas, pero en otros aspectos existen diferencias importantes entre estos dos tipos de imágenes. Debido a que la temperatura de los topes de las nubes decrece con la altura, las imágenes IR muestran un buen contraste entre las nubes de diferentes niveles (distinto a las VIS).

Las líneas costeras se observan claramente en las imágenes IR, siempre que haya un fuerte contraste entre la temperatura de la tierra y la de la superficie del mar. Durante el día pueden aparecer más oscuras (más calientes) que el mar, pero en la noche pueden aparecer más claras (más frías). Entre esos dos tiempos, cuando la tierra y el mar tienen la misma temperatura, se imposibilita la definición de las líneas costeras en las imágenes IR. El contraste más marcado entre la tierra y el mar se encuentra normalmente en verano e invierno y es menor en primavera y otoño. Las imágenes IR son inferiores a las VIS en

cuanto a la provisión de información sobre la textura de las nubes, porque se basan en la radiación emitida y no en la dispersada.

Los datos IR se pueden utilizar de forma cuantitativa, para determinar por ejemplo, la altura del tope de una nube a partir de su temperatura. La combinación de imágenes IR de distintos canales se utiliza para determinar la humedad en los niveles bajos, la temperatura del mar, las fases de las nubes y detectar las áreas de nieblas. Estas imágenes también se utilizan para determinar la intensidad de las tormentas y las precipitaciones, así como para monitorear las características nubosas en el tiempo con el fin de hallar el movimiento atmosférico.

Imágenes de vapor de agua (WV)

Las imágenes WV se derivan de la radiación en longitudes de onda donde el vapor de agua es el gas absorbente dominante. En las regiones de longitudes de onda de fuerte absorción, la mayoría de la radiación que llega al satélite se origina en la alta troposfera. La absorción más fuerte es la que se origina en el último nivel de emisión que alcanza al satélite. Según decrece la humedad relativa, la contribución principal a la radiancia recibida por el sensor del satélite llega desde un nivel más bajo de la troposfera. Las imágenes WV usualmente se manifiestan por la radiación emitida convertida en temperatura, como imágenes IR normales. Como la temperatura decrece con la altura, las regiones de alta humedad de la troposfera superior aparecen frías (claras) y las regiones con baja humedad aparecen cálidas (oscuras). En otras palabras, cuando la troposfera superior está seca aparece más oscura en las imágenes porque la radiación que llega al satélite se origina desde niveles atmosféricos más bajos, los cuales son más calientes.

Los patrones de flujo de gran escala se evidencian en las imágenes WV, ya que el vapor de agua actúa como un trazador pasivo de los movimientos atmosféricos.

Estas imágenes son útiles para mostrar el flujo troposférico medio e inferir el movimiento atmosférico.

Imágenes en los procesos de pronósticos

La presentación de una serie de imágenes como una secuencia móvil o lazo permite observar casi continuamente el desarrollo, movimiento y debilitamiento de los sistemas nubosos individuales, así como cuantificarlos lo que se traduce en una mejora de la exactitud de los pronósticos de corto plazo.

En la actualidad se dispone de sistemas computarizados para producir pronósticos cuantitativos de precipitación para unas pocas horas, usando una combinación de datos de satélites y de radares. Las probables áreas de precipitaciones fuera del alcance del radar se pueden inferir mediante un monitor interactivo, que facilita el control de la calidad de los datos del radar y el empleo conjunto de su información con las imágenes del satélite. Al contarse con esto, entonces se pueden realizar pronósticos de corto plazo por medio de la extrapolación.

En la figura 4 se muestra un frente frío fuerte sobre el sudeste del Golfo de México el 19 de diciembre del 2000. La banda aparece curvada de forma ciclónica con muy buena definición de sus bordes.

El radar meteorológico

La palabra Radar se deriva de la expresión inglesa Radio Detection and Ranging referida a la utilización de técnicas de radio para la detección a distancia de

En 1858 fue fundado el Observatorio del Real Colegio de Belén, y en 1861 se inaugura el Observatorio Físico-Meteorológico de La Habana.

1857. El físico holandés Buys Ballot (Christophorus Henricus Didericus) enuncia la ley que lleva su nombre y que relaciona la dirección del viento con el gradiente de presión. Científico holandés que ayudó a sentar las bases de la meteorología moderna y desarrolló un sistema de observaciones meteorológicas internacionalmente reconocido.

objetivos lejanos. El Radar fue desarrollado desde poco antes y durante la Segunda Guerra Mundial como una aplicación militar para la detección distante de aviones. Hoy, las técnicas de radar tienen múltiples

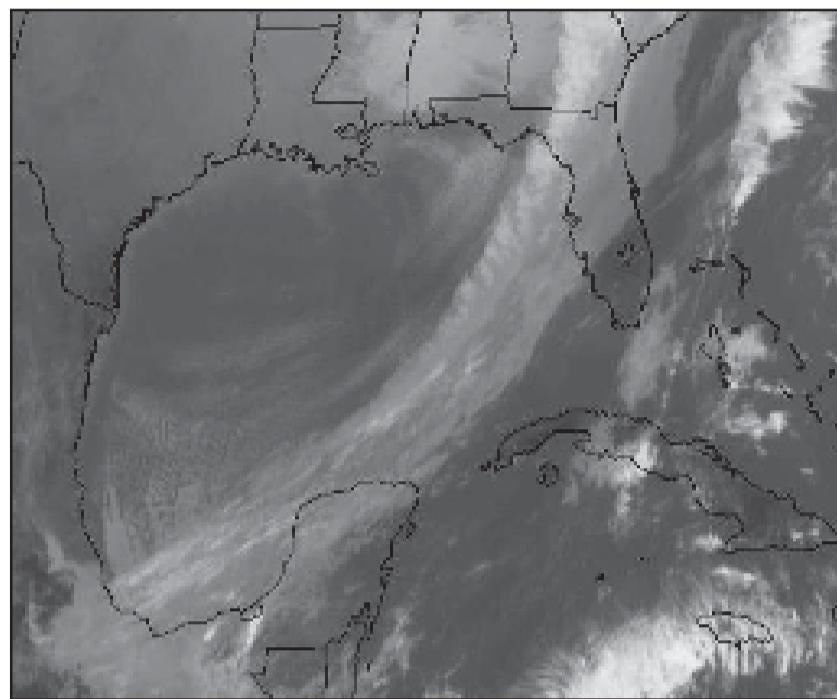


Fig. 4. Frente frío fuerte en el sudeste del Golfo de México (19 de diciembre de 2000).

aplicaciones y es una de las herramientas más importantes en la Meteorología.

Su funcionamiento se basa en la transmisión al aire de una señal de radio. Si hay un objeto capaz de reflejar esa señal, -aunque la mayor parte de la energía se disperse-, alguna será reflejada hacia el radar. La presencia de ese objeto será confirmada por la señal reflejada y recibida en el radar. Como se conoce la velocidad con la que se propagan las ondas de radio en el aire, la distancia al objetivo puede ser determinada mediante la medición del tiempo transcurrido entre la transmisión de la señal y la recepción de la señal reflejada. La humedad atmosférica condensada, formando pequeñísimas gotas en las nubes y gotas de tamaño mayor en la lluvia, o bien el granizo o la nieve, provee objetivos que pueden ser detectados por los radares meteorológicos. Estos se diferencian en las longitudes de onda de la señal emitida. Por eso en meteorología se utilizan radares con longitudes de onda de 3 cm para las gotas de nube y 10 cm para objetos mayores, como las gotas de lluvia.

Muestreos de la atmósfera realizados con el Radar

La antena del radar meteorológico, que se usa para transmitir y recibir un fino haz de ondas de radio, gira 360° y puede inclinarse hasta unos 20° en elevación, lo que permite al radar muestrear un gran volumen de la atmósfera contenido en un cono de revolución. La antena está protegida de la acción del viento por una cúpula esférica construida de un material plástico y pintura no absorbente de las ondas de radio. La antena del radar da una vuelta completa de 360° a 0° de elevación, y después, consecutivamente, da otras vueltas con elevaciones mayores, hasta completar el muestreo de un cono. A esto se le conoce como patrón de muestreo volumétrico. Después que dicho muestreo ha sido realizado, la información se procesa en la computadora, la cual genera las imágenes que sirven a los meteorólogos para interpretar los fenómenos y hacer pronósticos a muy corto plazo.

Otro tipo de muestreo es el muestreo vertical, que consiste en mantener la antena fija en una misma dirección y proceder a elevarla en la vertical. Se logra así un corte que permite a los meteorólogos analizar de manera particular una nube de tormenta, medir su altura y los procesos que en ella tienen lugar.

Relación entre reflectividad y precipitación

La reflectividad es la cantidad de energía transmitida que es retornada o recibida por el radar. Los radares modernos son muy sensibles y pueden detectar reflectividades tan pequeñas como -28 dBZ, sin embargo, la mayoría de los eventos de precipitación reflejan mucha más energía, usualmente cercanos a 15 dBZ o más. En general, mientras más energía sea reflejada hacia el radar, más intensa es la precipitación. La escala de intensidad se representa usualmente por una escala de colores al lado del mapa geográfico con la imagen captada por el radar. Una leyenda a uno de los lados de la imagen muestra la relación entre los colores y la energía reflejada, o lo que es igual, la intensidad de la precipitación observada. Esta es la escala de códigos de colores que pueden verse en las imágenes del radar de

La Habana que aparecen en la página web del Instituto de Meteorología: (<http://www.met.inf.cu>).

Ecos en el radar meteorológico no relacionados con la lluvia

A veces hay ecos débiles en la imagen que no están relacionados con la precipitación, sino con efectos atmosféricos, dispersión por el terreno o ecos falsos. Muchos objetos pequeños pueden reflejar pequeñas cantidades de energía que son captadas por el radar, tales como humo o niebla. Hay efectos atmosféricos como la capa de inversión o variaciones en la densidad del aire que introducen cambios de temperatura que también pueden producir ecos débiles. Otra clase de eco no relacionado con la precipitación es la reflexión en objetos fijos sobre el terreno, como pequeñas elevaciones, edificios, antenas, bandadas de pájaros, insectos, etc. Estos ecos se caracterizan usualmente por un área uniformemente coloreada localizada alrededor del emplazamiento del radar. Estos no son errores o problemas el radar, son ecos reales no relacionados con la precipitación y que son captados por el radar.

Importancia de la aplicación del radar en la Meteorología

El radar meteorológico es una importante herramienta para el pronóstico a muy corto plazo. Posibilita el seguimiento y vigilancia continua del desplazamiento y evolución de los principales sistemas meteorológicos de gran escala, tales como frentes fríos, líneas de tormentas pre-frontales y ciclones tropicales, es imprescindible para la vigilancia de los sistemas de escala pequeñas o local, tales como los complejos convectivos, nubes de tormenta y detección de zonas de posible formación de tornados y tormentas locales severas. Sin embargo, debido a la rápida evolución de estos fenómenos en el tiempo, a veces de sólo unos minutos, sólo es posible un empleo más eficaz de los llamados pronósticos inmediatos o de muy corto plazo cuando existe la posibilidad de darlos a conocer de inmediato por la radio local, como se hace en varias provincias del país.

Las secuencias animadas de radar resultan un elemento muy empleado para una rápida detección del movimiento y evolución de los sistemas de precipitación, bien sea éstos de gran escala o los que se generan a escala local.

Presión atmosférica. Isobaras y vientos

El aire como cualquier otro cuerpo sobre la superficie terrestre, pesa. El peso del aire que compone la atmósfera es de 5 500 billones de toneladas. La

constatación de éste hecho conduce a un concepto muy importante desde el punto de vista meteorológico, la presión atmosférica, o sea, el peso de una columna de aire atmosférico que se encuentra sobre una base de área igual a la unidad en la cual se mide, y para ello se utiliza un instrumento llamado Barómetro.

Como valor medio normal de la presión atmosférica se ha tomado 760 mm de mercurio, que equivale a 1013.2 hectoPascal, tomada a nivel del mar, a 45° de latitud y a 0° C de temperatura ambiente.

Por supuesto que la presión no tiene el mismo valor en distintos puntos y en distintos momentos: ello varía con la altura y también en la horizontal:

- en sentido vertical la presión disminuye a medida que aumenta la altura, rápidamente en las capas bajas y más lento en las capas altas. Esto se debe a que en los primeros kilómetros de la troposfera se concentra más de la mitad del aire existente en toda la atmósfera.
- en la horizontal la variación de la presión se relaciona directamente con la distribución de la radiación solar y el diferente calentamiento zonal de la superficie terrestre. Estas variaciones horizontales permiten comprender las condiciones meteorológicas y los distintos tipos de climas. Así, existen zonas donde predominan altas presiones y otras donde lo normal son las presiones bajas.

La existencia de diferencias horizontales de presión sobre la superficie terrestre, es la causa de un movimiento compensatorio que desplaza aire desde las zonas de mayor presión (Anticiclones) hacia las zonas de menor presión (Ciclones). Este movimiento del aire se define como Viento.

El aire, al moverse desde las altas presiones hacia las bajas presiones, no sigue una trayectoria rectilínea como sería normal, -al menos en teoría- sino espiral. La rotación de La Tierra introduce un factor de inercia, llamado aceleración de Coriolis, que hace que las trayectorias en línea recta sean imposibles. Se produce una desviación en el movimiento del aire (viento) que sigue una dirección sensiblemente paralela a las Isobaras, aunque cruzándolas ligeramente por el efecto del rozamiento con la superficie terrestre. En las capas altas de la troposfera el viento es paralelo a las Isobaras, pues no existe rozamiento, y el viento recibe el nombre de viento geoestático.

En el hemisferio Norte, el viento gira en sentido contrario al de las agujas del reloj alrededor de los centros de baja presión, lo que se conoce como circulación ciclónica, mientras los que giran a favor de las manecillas del reloj alrededor de los centros de altas presiones, se denominan circulación anticiclónica. Sin embargo, en el hemisferio Sur ocurre lo contrario.

El viento se mide en diferentes unidades, empleándose el metro por segundo en el Sistema Internacional de Unidades o bien su múltiplo, el kilómetro por hora, más utilizado en nuestro país. Para medir la dirección se toma el rumbo desde donde sopla el viento, a partir de los 16 rumbos de la rosa náutica o rosa de los vientos. Los vientos pueden clasificarse en: dominantes, estacionales y locales.

- vientos dominantes en nuestro ámbito tropical son los Alisios, que soplan aproximadamente de región Este durante todo el año en ambos hemisferios desde la faja de altas presiones subtropicales hacia la faja ecuatorial de bajas presiones.
- vientos estacionales son sistemas de circulación que responden a la variación anual de las temperaturas entre mares y continentes. Los ejemplos típicos de estos vientos son los monzones del Mar de la China y del Océano Índico.
- vientos locales son los que se desarrollan en lugares específicos o zonas geográficas pequeñas, adquiriendo una propiedad característica del lugar. Unos se desarrollan como resultado del calentamiento desigual de la tierra y el mar, terral o brisas marinas; otros tienen su causa en el calentamiento y enfriamiento de laderas de montañas, brisas de montaña y valle; y un tercer grupo esta

relacionado con la deformación de las corrientes de aire al cruzar las cordilleras. En Cuba las brisas marinas y terrales son los más frecuentes. Son vientos con periodicidad diaria, que ocurren a lo largo de la línea de costa. Durante el día una misma insolación produce efectos opuestos en la mar y en tierra. La tierra se calienta más rápidamente, formando un mínimo relativo de presión, mientras en el mar se forma un centro de aire más frío, con un máximo relativo de presión, de modo que el viento circula del mar a la tierra, lo que se denomina brisa marina. Durante la noche ocurre el proceso inverso soplando el terral, pues la tierra se enfriá más rápidamente que el mar, creando un centro relativo de alta presión. El terral sopla entonces de tierra al mar.

Ciclones y anticiclones. Representación de los centros de altas y bajas

Los principales sistemas que se destacan en los mapas del tiempo son: los ciclones y los anticiclones. El ciclón, es un área de bajas presiones o mínimo de presión, y el anticiclón, es un área de alta presión o máximo de presión.

Las áreas de bajas presiones están constituidas por isobaras cerradas con circulación ciclónica, en las que disminuye la presión desde la periferia hacia el interior. En los mapas sinópticos suelen ser indicadas por la letra «B» que significa baja. Las zonas de bajas presiones ocupan un área relativamente reducida con relación a la ocupada por las altas presiones, presentan un fuerte gradiente de presión horizontal, o sea mayor fuerza de los vientos, mucho mayor y fuerte es el gradiente en presencia de un Ciclón Tropical, acompañadas de un tiempo perturbado con nublados y lluvias.

Los anticiclones o centros de altas presiones están constituidos por isobaras cerradas cuyo valor aumenta de la periferia hacia el interior en el que se da una zona de máxima. En los mapas sinópticos suelen ser representados por la letra «A», que significa alta. Las características generales de las altas presiones son la presencia de gradientes débiles, la superficie que ocupa es generalmente extensa y son áreas a diferencia de las bajas presiones de relativamente buen tiempo, cielos despejados y régimen de poca lluvia.

Cuñas y vaguadas

Son sistemas isobáricos que en ocasiones pueden ocasionar un régimen de tiempo determinado.

- Dorsal anticiclónica o cuña: es la prolongación del cuerpo de un centro de alta presión en forma de lengua, correspondiendo a una línea de tiempo estable en la altura, y es una línea de separación entre dos mínimos de presión cercana. La circulación de sus vientos es anticiclónica.
- Vaguadas: Zonas de presiones mínimas extendidas en sentido Norte-Sur, donde el tiempo tiende a ser generalmente inestable. Existen dos tipos de vaguada: las ondas y los separadores, las primeras se mueven en un flujo homogéneo y las segundas señalan los límites o fronteras de dos sistemas anticiclónicos.

La circulación general de la atmósfera

El calentamiento de nuestro planeta no es homogéneo en función de la latitud. La zona limitada por los paralelos 40° N y 40° S recibe una mayor cantidad de radia-

ción proveniente del sol que la emitida por ella, mientras que los casquetes polares limitados por dichos círculos de latitud emiten más de la que reciben.

De tal forma, se requiere de un mecanismo que sea capaz de transportar el calor desde la zona ecuatorial hacia los polos y evite la ocurrencia de un excesivo calentamiento de las bajas latitudes y un permanente enfriamiento de las altas.

Este mecanismo está compuesto por la circulación oceánica y la circulación general de la atmósfera. Así, una parte del calor es transportado en forma de calor sensible, mientras que otra parte lo es en forma de calor latente por el vapor de agua que las corrientes atmosféricas arrastran; lo que da lugar a que la temperatura media anual de cada punto de la superficie terrestre permanezca casi constante, dentro de un margen de variación limitado.

La circulación atmosférica que se observa a diario, a la que denominaremos circulación real, es sumamente compleja a cambiante, al extremo que no se repite nunca. Sin embargo, es posible considerar a la circulación real como un estado fluctuante alrededor de un estado medio, que se considera como estado de régimen. Este enfoque en el estudio de la circulación general de la atmósfera es propio de la climatología, pero muchas autores la consideran como la verdadera circulación general de la atmósfera.

La circulación general de la atmósfera es entonces el flujo medio tridimensional del aire sobre la Tierra. Si en dicha circulación interviniere solamente la diferencia de calentamiento entre las diferentes latitudes de la superficie terrestre, el esquema de la circulación planetaria sería muy sencillo. Sin embargo, el movimiento de rotación de la tierra desvía el movimiento del aire a través de la denominada fuerza de Coriolis. Para comprender mejor la circulación atmosférica se establece un modelo ideal de circulación. Hacia la zona de bajas presiones ecuatoriales creada por el gran calentamiento de esa región convergen los vientos alisios, del nordeste en el hemisferio norte y del sureste en el hemisferio sur. A este lugar se le denomina como Zona Intertropical de Convergencia (ZIC). Dichos vientos, al encontrarse, ascienden determinando que la ZIC sea un sistema meteorológico cuasipermanente caracterizado por la abundante nubosidad y la ocurrencia de lluvias. Una vez que este aire en ascenso ha alcanzado cierta altura comienza su desplazamiento hacia los polos, acompañado de una gran cantidad de calor que obtuvo a partir de la condensación del vapor de agua que se produce en las grandes áreas de lluvias que caracteriza a la ZIC (calor latente de condensación).

Debido al desvío que ocasiona la fuerza de Coriolis, estas corrientes de aire hacia los polos se ven obligados a converger en los 30° de latitud (de ambos hemisferios) y en consecuencia descienden, lo que da origen al Cinturón de las altas presiones subtropicales, importante sistema meteorológico donde el viento en la superficie diverge en dos ramas, una que origina los vientos alisios y genera una celda de circulación vertical del aire conocida como celda de Hadley y otra que se mueve necesariamente hacia los Polos. Esta segunda rama, también se ve obligada a converger sobre los 60° de latitud por las mismas causas que explicamos anteriormente, pero, con la diferencia de que esta convergencia ocurre en la superficie y entonces el aire es obligado a ascender hasta cierta altura donde diverge nuevamente en dos ramas: una en dirección al Ecuador hasta el cinturón de las Altas Presiones Subtropicales, que cierra una segunda celda de circulación vertical nombrada como celda de Ferrel y otra definitivamente hacia los polos. De tal forma, sobre los 60° de latitud se crea una importante

zona de bajas presiones denominada como Zona del Frente Polar; mientras que en los polos se produce una fuerte convergencia del aire en la altura que lo obliga a descender, formando las Altas Presiones Polares, hasta la superficie y a trasladarse hacia el Sur hasta la Zona del Frente Polar. Este modelo ideal de la circulación atmosférica permite comprenderla mejor, pero en la realidad ella es mucho más complicada debido a que la superficie de la tierra no es homogénea. Así, en el verano de cada hemisferio, el gran calentamiento hace que las bajas presiones superficiales se ubiquen hacia los continentes, mientras que hacia los océanos persiste la presencia de las altas presiones. En invierno se invierte el proceso sobre los continentes. Un resultado importante de estos efectos es que el cinturón de las altas presiones subtropicales se ve interrumpido sobre los continentes, de ello resulta la existencia de anticiclones cerrados sobre los océanos, como es el Anticiclón Subtropical del Océano Atlántico, algo muy distinto al concepto de un anillo anticiclónico continuo alrededor de todo el mundo.

La formación de las células circulatorias convierte a la Circulación General de la Atmósfera en un sistema celular de elementos alternativamente anticiclónico y ciclónico, tanto cerca de la superficie como en la altura. Cada célula posee su propio sistema circulatorio, lo que obliga a la circulación general a incluir todas estas circulaciones parciales. En la actualidad se reconoce que no solo los sistemas cuasipermanentes forman parte esencial de la circulación general, sino que también lo son las celdas circulatorias de menos rango, como los ciclones extratropicales, ya que contribuyen grandemente al transporte de calor y vapor de agua.

Masas de aire y frentes atmosféricos

Se abordarán ahora algunas de las principales situaciones sinópticas de latitudes medias y altas, como son los ciclones o bajas extratropicales con sus frentes atmosféricos, debido a la importancia que tienen para Cuba, no sólo la interacción de los mismos con los sistemas tropicales, sino también por la influencia directa que ejercen en nuestra área de pronóstico.

Formación y tipos de masas de aire

Las masas de aire son grandes extensiones que presentan características casi uniformes en el plano horizontal, principalmente con relación a la temperatura y humedad. Estas características son fundamentales. Pueden extenderse y abarcar todo un continente. La frontera o límite, entre dos masas de aire con características diferentes, se denomina frente. El frente atmosférico no es una línea, sino una zona de transición entre estas dos masas de aire, por lo que también se le aplica el término de zona frontal. A lo largo de esta zona es donde se presenta la mayor discontinuidad entre las variables meteorológicas. Es decir, los abruptos cambios en la presión atmosférica, la temperatura del aire, la humedad, la nubosidad y el viento (en la dirección y velocidad). También en esta zona se presentan las lluvias y tormentas eléctricas, que pueden ser más o menos intensas, en concordancia con la estructura que presente el frente en la troposfera baja y media (alturas de 3 y 5 km). Todo lo expuesto, reafirma que, a escala sinóptica los eventos significativos del tiempo se producen en la zona de transición (frente) entre dos masas de aire.

En 1889 se emplazó el Observatorio de la Comandancia de la Marina, en el lugar de la antigua Lonja del Comercio.

En 1908 aparece por primera vez el nombre del Observatorio Nacional adscripto a la Secretaría de Agricultura, Comercio y Trabajo y pasó a ocupar el lugar en que hoy se encuentra el INSMET.

4-1-1919. Muere Andrés Poey Aguirre, precursor de la meteorología científica en Cuba.

22-8-1922. Primera transmisión radial del pronóstico del tiempo en Cuba. En 1942, como consecuencia de la Segunda Guerra Mundial, el Observatorio Nacional pasó a la Marina de Guerra.

Las masas de aire se forman en las llamadas regiones fuentes. Se denomina así a la región geográfica donde permanecen estacionarias una cierta porción de la atmósfera, la que adquiere las propiedades de temperatura y humedad propias de la superficie sobre la cual ella se encuentra. En estas regiones o zonas, la topografía es reducida y en las proximidades de la superficie, hay poco viento, por lo que el aire estancado adquiere o toma las propiedades de la superficie de dicha región fuente; por ejemplo: la humedad, el calor, la sequedad, etc. La formación de una masa de aire, no es un proceso rápido, pero sí un proceso continuo de varios días. De forma general, las masas de aire se forman en áreas, donde predominan las altas presiones, debido a que en éstas los vientos son débiles. El proceso de formación y transformación de las masas de aire se presenta en la atmósfera de forma continua, de tal manera, que siempre en alguna región se está generando o formando una masa de aire y en otra se está transformando y viceversa.

Tipos de masas de aire

Las masas de aire se pueden clasificar, atendiendo a su temperatura, en frías y calientes; su origen geográfico, en polares, árticas, tropicales y ecuatoriales; según la superficie sobre la cual se originan: en marítimas y continentales; y de acuerdo a su contenido de humedad: en secas y húmedas.

Las masas de aire de origen continental se caracterizan por tener aire seco cerca de la superficie, mientras que las marítimas son húmedas. Las masas de aire polar se caracterizan por el aire frío cerca de la superficie, mientras que las tropicales son cálidas y húmedas.

Las masas de aire continental polar y continental ártica son frías, secas y estables. Estas masas se originan sobre el noreste de Canadá y Alaska. En su formación, un papel importante lo desempeña, el enfriamiento por radiación. Se producen por la influencia de altas presiones, con temperaturas frías y punto de rocío bajos. En su desplazamiento hacia el Este y luego al sudeste, son estas altas presiones las que afectan a Cuba, en el período invernal, siendo las responsables junto a otros factores meteorológicos, de los registros notables de temperaturas mínimas, principalmente en la llanura Habana-Matanzas.

Las masas de aire marítimo tropical son cálidas, húmedas y por lo general inestables. Mientras que la tropical continental es caliente, seca e inestable en los niveles bajos y generalmente estable en la altura. Las masas de aire pueden ser modificadas significativamente cuando ellas se desplazan sobre regiones con características diferentes. Al sufrir estas modificaciones, las masas de aire se vuelven a nombrar de acuerdo a sus nuevas características. Entre los factores que pueden modificar a las masas de aire, o que juegan un papel importante, se halla la topografía del terreno.

Definición de frentes atmosféricos: sus tipos

Frentes atmosféricos

La principal causa para la formación de los frentes es la existencia de las ondas del oeste de la Circulación General. Ellas ocasionan que en la circulación, el aire frío se desplace hacia bajas latitudes y el caliente se desplace hacia las latitudes altas. El frente se forma en el seno de la onda donde se encuentran estas dos masas de aire y el tipo de frente depende de la dirección en la cual se está moviendo la masa de aire y las características de la misma. En la atmósfera se denotan cuatro tipos de frentes: frente frío, frente caliente, frente estacionario y frente ocluido.

Para localizar este sistema sinóptico en el mapa de superficie, es necesario analizar el comportamiento de las diferentes variables meteorológicas, como son,

los cambios de: temperatura en los alrededores, contenido de humedad del aire, los campos de la presión, los giros en la dirección del viento, la vaguada de la presión, los patrones nubosos y de precipitación. No siempre todos estos patrones están presentes, pero son algunos de los signos que permiten ubicar correctamente la zona de discontinuidad, zona de transición o zona frontal. También los frentes atmosféricos pueden ser localizados por los sistemas de altas presiones intensos al oeste y al norte de ellos.

Los frentes atmosféricos se clasifican según su movimiento respecto a las masas de aire frío y caliente. Los principales tipos son: frente frío, frente caliente y frente ocluido.

- El frente frío se forma cuando la masa de aire frío, de origen polar o ártico, -que puede ser continental o marítimo- se desplaza hacia las bajas latitudes, y se encuentra con el aire caliente y húmedo de origen tropical o ecuatorial, que se mueve hacia las latitudes más altas, a consecuencia de la misma circulación, el aire frío desplaza y levanta al aire caliente, imponiéndose los vientos de región norte, detrás de la zona frontal. Los frentes fríos son los que más rápidos se mueven y además tienen asociados el cambio de tiempo más severo, como líneas de tormentas a lo largo de la zona frontal y en ocasiones delante de ella.
- Los frentes calientes se forman cuando el aire gana en latitud, y desplaza al aire relativamente frío a la vez que se remonta sobre él. Se mueven lentamente y a ellos está asociado un tiempo con nubes del tipo estratiforme y lluvia continua, ligera o moderada. La nubosidad y la precipitación prevalecen al Norte del frente caliente. Se localizan en el mapa del tiempo, al nordeste del frente frío y con frecuencia al este de un área de bajas presiones. Con frecuencia están precedidos por niebla.
- Se denomina frente estacionario cuando las dos masas de aire, la fría y la caliente, se superponen, pero sin que ninguna desplace a la otra. El comportamiento de estos frentes es parecido al de los frentes calientes, pero más atenuados los campos de la nubosidad y la precipitación, asociados al mismo. Los vientos en ambos lados del frente estacionario son paralelos a éste. También se forman cuando la masa de aire polar se modifica y pierde sus características.
- El Frente ocluido es aquel que resulta cuando el frente frío alcanza al frente caliente y queda una masa de aire caliente atrapada entre dos masas de aire frías. Es decir, queda una masa de aire cálida y húmeda, ocluida, al ser rodeada por un aire frío y otro menos frío. Los frentes ocluidos son indicadores del estado maduro de las bajas extratropicales. El tiempo asociado al frente ocluido presenta en su parte delantera similar comportamiento a la de un frente caliente, y se comporta como un frente frío a lo largo y detrás de la oclusión.

Se llama Frontogénesis al proceso mediante el cual se genera un frente, mientras que Frontolisis es el proceso de disipación de estos sistemas atmosféricos.

Ciclones Extratropicales. Su ciclo de vida

Las bajas extratropicales o ciclones extratropicales son sistemas que se gestan en latitudes medias y altas debido al contraste entre masas de aire de diferente temperatura y humedad. Estos sistemas tienen asociados extensos sistemas nubosos productores de precipitaciones en forma de lluvia y nieve. Las bajas extratropicales consisten en una zona de bajas presiones a lo largo de la cual se desarrollan líneas de discontinuidad térmica y humedad llamadas comúnmente frentes. Una baja extratropical tiene asociado en su estadio inicial un frente frío y uno caliente y entre ambos sistemas hay una zona llamada sector caliente.

Una baja extratropical pasa un ciclo de vida que consta de varios estadios de evolución desde su nacimiento hasta la extinción y disipación. En su etapa inicial se

desarrolla una onda en el frente y la baja se localiza en el vértice de la onda, posteriormente la baja se profundiza intensificándose, aproximándose ambos frentes y cerrándose el sector caliente hasta llegar el estado de oclusión, donde el frente frío alcanza al frente caliente superponiéndose ambos y formando un solo sistema llamado frente ocluido.

A medida que continua el proceso de oclusión el aire caliente asciende a niveles más altos aumentando la longitud del frente ocluido y cerrándose cada vez más el sector caliente, terminando por desprenderse el centro de bajas presiones del frente ocluido y eliminando posteriormente las superficies de discontinuidad y por lo tanto disipándose.

Corrientes en Chorro: tipos de corrientes

En las latitudes medias, en las proximidades entre los 30 y 60 grados de latitud norte, el aire en la troposfera superior, tiende a moverse muy rápido, o lo que es igual, con velocidades fuertes, en una zona relativamente ancha, y generalmente su movimiento es hacia el Este, en el seno de la circulación de los vientos del oeste, formando los denominados "Chorros" o corrientes en Chorros. Por lo que, una Corriente en Chorro se define como una banda de vientos máximos que se presenta en la altura de los 8 y 10 km, con uno o más núcleos centrales.

Se denotan dos tipos de Corrientes en Chorros: la Polar y la Subtropical. En la primera la banda de vientos máximos está inmersa en los oestes y circula en sentido ciclónico alrededor del Polo, con una velocidad que excede a los 150 km/h y en ocasiones ha llegado hasta 300 km/h La velocidad del viento a lo largo de la corriente no es uniforme, sino que presenta dos ó tres máximos principales. Aunque en su posición media presenta oscilaciones, se consideran los 40 °Norte como su latitud media.

Se define como Corriente en chorro subtropical una corriente de vientos máximos que se extiende desde bajas latitudes en dirección al Polo. Se halla en la masa de aire tropical, con su zona o eje de vientos máximos en el nivel de 200 hPa (10 a 12 km de altura). En ocasiones se relaciona con la corriente en chorro Polar, resultando una corriente en chorro compleja.

Existe una estrecha relación entre las corrientes en chorro Polar, subtropical y los procesos atmosféricos, como son el desarrollo e intensificación de los ciclones extratropicales, los frentes atmosféricos, y por tanto el comportamiento del tiempo asociado a los mismos. Es por eso que el comportamiento de las corrientes en chorro juega un papel fundamental en el pronóstico del tiempo.

Para Cuba, la corriente a chorro subtropical es de gran importancia, por su vinculación directa con los procesos que generan las precipitaciones. Por esta causa el proceso evolutivo de esta corriente es siempre estudiado con gran atención por los meteorólogos que confeccionan el Pronóstico del tiempo en Cuba.

Sistemas meteorológicos y su influencia sobre Cuba

En nuestro país predominan fundamentalmente dos tipos de anticiclones. El anticiclón subtropical del Atlántico ejerce su influencia gran parte del año, más acentuado en el período lluvioso, mientras que en los meses de la temporada invernal o poco lluviosa, recibimos la influencia, de manera alterna al anticiclón del Atlántico, de los anticiclones migratorios de origen continental, con una masa de aire fría y estable.

Bajas extratropicales

Estos sistemas de bajas presiones no sólo se forman y se desplazan sobre el continente norteamericano, sino que este proceso también se manifiesta en el área del Golfo de México y en los estados del Sur de los Estados Unidos. En estas áreas se les denominan Golfianas, que son las bajas extratropicales que afectan a Cuba.

Las bajas extratropicales producen en Cuba, por una parte, vientos de componente sur, cuando estas son extensas o se desplazan sobre aguas del golfo de México. Su desplazamiento por el sur del continente o por el golfo de México hace llegar los frentes fríos que se generan dentro de ellas, causando abundante nubosidad, lluvias e incluso tormentas al paso de los frentes que tiene asociados. Posteriormente al paso de los frentes, producen el descenso de la temperatura debido a la invasión de aire frío ocasionado por la influencia del anticiclón continental migratorio. Las bajas extratropicales a veces producen fuertes vientos de región noroeste, que en ocasiones generan fortísimas marejadas en el golfo de México y la costa norte cubana, las que suelen provocar inundaciones costeras por penetración del mar en las zonas bajas del litoral norte occidental, como caso especial, el malecón habanero.

Sures

Los Sures son vientos que generalmente están asociados a los centros de bajas presiones extratropicales que se desplazan sobre el Golfo de México y en el sur de los Estados Unidos. También resultan de la combinación de estas situaciones sinópticas con las altas presiones oceánicas, con centro en el Atlántico. Aunque el rumbo de mayor frecuencia es el Sur, el suroeste y el sureste, no se descartan. Las velocidades que alcanzan los denominados sures, son fuertes, superiores a los 55 km/h; en algunas ocasiones su duración en la escala temporal oscila desde algunas horas hasta algunos días, afectan a Cuba con más frecuencia en el período poco lluvioso de diciembre a abril y son más frecuentes en febrero, marzo y abril.

En ocasiones los vientos de región sur en Cuba han alcanzado velocidades en rachas de más de 100 km por hora, debido a que han estado vinculados a extensas e intensas bajas extratropicales desarrolladas en el continente o en aguas del Golfo de México. También en algunos casos los sures han sido producidos por el avance de algún ciclón tropical por aguas del Golfo de México.

Líneas de tormentas eléctricas pre-frontales

Las líneas de tormentas eléctricas prefrontales se desarrollan, como su nombre lo indica, delante de un frente frío, a una distancia variable que media entre 50 y 300 km e incluso en algunas ocasiones suele ser mayor. Ellas no son más que una línea ficticia de tormentas eléctricas y chubascos que se propaga, la cual se desarrolla delante de un frente frío, están acompañadas de chubascos y tormentas eléctricas que en ocasiones adquieren carácter severo y producen intensa actividad eléctrica, fuertes lluvias, granizos y en casos extremos tienen asociado vientos superiores a los 100 kilómetros por hora.

La región occidental de Cuba ha sido azotada por fuertes líneas de tormentas eléctricas prefrontales, destacándose la del 27 de abril del año 1980, 16 de febrero de 1983 y 16 de marzo de 1983 y en todas ellas se produjeron diversidad de fenómenos de tiempo severo.

Frentes fríos

Los frentes fríos son los sistemas meteorológicos que afectan a Cuba con mayor frecuencia en el denomi-

nado extratropical sobre el nordeste del continente período seco o temporada invernal (figura 5). La temporada invernal se extiende desde octubre, mes en el cual comienzan a desplazarse sobre el Golfo de México los frentes fríos que nos afectan, y se extiende hasta el mes de abril, aunque Cuba ha sido afectada por frentes fríos en los meses de septiembre, mayo y en número menor, en el mes de junio.

Al desplazarse los frentes fríos sobre Cuba, se imponen vientos de región norte y a su paso se producen lluvias y chubascos, que alcanzan valores significativos de precipitación. La influencia de las altas presio-

Cuba, uno ó dos días después que previamente afectó un frente frío, con la característica de que éste fue formado en la circulación de la misma baja principal. Por su intensidad pueden ser: débiles, moderados y fuertes:

- Frentes Fríos Débiles son los que producen a su paso vientos con velocidades que no pasan de 35 km/h;
- Frentes Fríos Moderados son aquellos que producen vientos entre 36 y 55 km/h;
- Frentes Fríos Fuertes son aquellos frentes que producen a su paso vientos con velocidades superiores a los 55 km/h.

Hondonadas

Son sistemas atmosféricos en los cuales la presión es más baja en su eje con relación a sus alrededores. Se denota en los mapas sinópticos por la curvatura que presentan las isobaras (en los mapas de superficie) o las isohipsas, (en los mapas de aire superior) casi paralelas y en forma de V invertida, cóncavas hacia la menor presión. En ocasiones, se desarrolla en su seno un centro de bajas presiones, que puede estar asociado o no a la Zona Intertropical de Convergencia. Se desplazan generalmente de Este a Oeste. Tienen asociadas nublados y chubascos. El eje de esta hondonada se orienta Norte – Sur y nordeste – suroeste.

Una Hondonada pre-frontal es aquella que presenta características similares a la hondonada, pero su desplazamiento es de Oeste a Este, ya que está asociada a los frentes fríos, avanzando por delante de los mismos. A veces la gran actividad de chubascos y tormentas que produce a su paso, influye en que apenas sea perceptible la actividad de lluvias del frente frío cuando éste llega y se desplaza sobre el territorio cubano.

Ondas Tropicales

La onda tropical se define como un flujo perturbado en los vientos alisios, con máxima curvatura ciclónica. Puede estar representada en la troposfera media, o puede ser el reflejo de una baja fría en la troposfera superior. También puede ser una extensión hacia el ecuador de una vaguada de latitudes medias. La Onda Tropical presenta deformaciones significativas en los campos de presión, viento, nubosidad y precipitación en el nivel en que están representadas muestran varios tipos de representación en las imágenes de satélite. Estas ondas se caracterizan por inclinar hacia el Este su eje con la altura.

Hay una sub-categoría o caso particular de Onda Tropical denominada Onda del Este. Estas se desplazan de Este a Oeste. Aparecen con deformación en el campo isobárico, soplan vientos del nordeste delante de la onda y del sureste, con velocidades superiores, detrás de la misma. Tiene su máxima amplitud en la troposfera baja y media y tiene asociados, además, nublados, chubascos y abundantes tormentas eléctricas, principalmente en la parte posterior a su eje. Se manifiesta por una caída en los valores de la presión por delante y en el mismo eje de la onda, que oscila entre 0,5 y 3,0 hPa, antecediendo al paso del eje de la onda, mientras que los valores de la presión aumentan detrás de la misma. La orientación de la Onda es nordeste-suroeste, y abarca una zona que

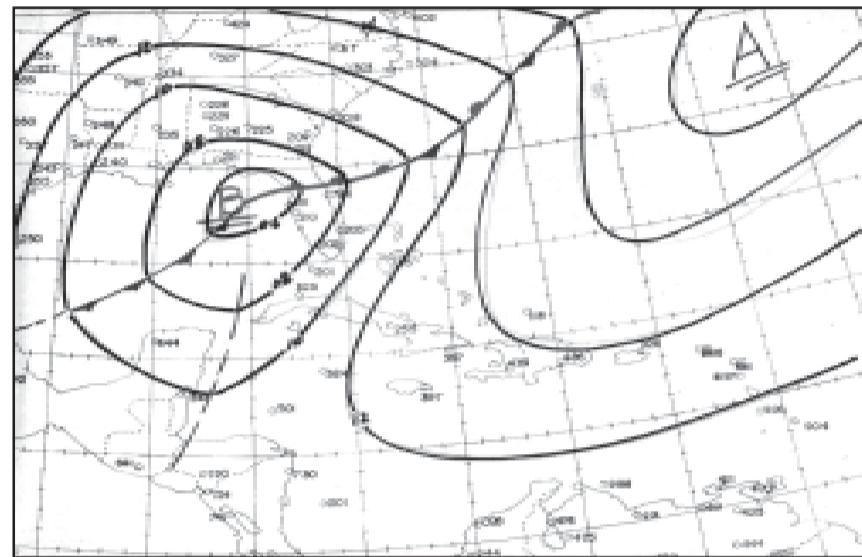


Fig. 5. Mapa del tiempo que muestra un frente frío sobre la región occidental de Cuba. Obsérvese el anticiclón continental sobre Texas, EE. UU., y la baja extratropical sobre el nordeste del continente.

nes que acompañan al frente frío es la responsable de que las temperaturas desciendan después del paso de éste.

El mayor o menor descenso de la temperatura después del paso del frente frío, está en correspondencia con el origen de la masa de aire que lo acompaña. Es decir, si es ártica o polar, marítima o continental; así como también de factores meteorológicos como la nubosidad, velocidad del viento y de las características físicas – geográficas de cada localidad en el territorio cubano. Cuando se conjugan factores tales como: cielo despejado, velocidad del viento débil y la masa de aire, asociada al frente frío, es de origen ártico continental, y se producen en el territorio cubano temperaturas mínimas notables, principalmente en la llanura Habana- Matanzas, de la mitad occidental de Cuba.

Los frentes fríos pueden clasificarse por las diferentes variables asociadas a estos, como son: la temperatura, la nubosidad, la precipitación o el campo de viento, entre otras. En Cuba los frentes fríos se clasifican por tipos e intensidades de los vientos de región norte asociados a paso de los mismos.

Por su tipo pueden ser: clásicos, revesinos y secundarios.

- Frentes fríos clásicos son aquellos que están asociados a un centro de bajas presiones que generalmente se desplaza de Oeste a Este, sobre las aguas del Golfo de México, o los estados del sur de los Estados Unidos. Estos frentes están precedidos por vientos de región sur, sobre la mitad occidental de Cuba.
- Frentes Fríos Revesinos son aquellos que al llegar a Cuba provocan un giro del viento del Este al nordeste y Norte.
- Frentes Fríos Secundarios son los que afectan a

1950. El Convenio de la OMM entra en vigor el 23 de marzo.

1951. La OMM pasa a ser un organismo especializado de las Naciones Unidas.

12-10-1965. Fundación del Instituto de Meteorología de la Academia de Ciencias de Cuba.

31-5-1968. Se gradúa el primer grupo de meteorólogos formados por la Revolución en la escuela del Instituto de Meteorología.

1979. Se celebra la Primera Conferencia Mundial sobre el Clima, que condujo al establecimiento del Programa Mundial sobre el Clima.

oscila entre 90 y 190 Km. de ancho, en la que se denota un cambio gradual del tiempo. Las regiones de divergencia en niveles bajos se corresponden con las áreas de caída de la presión, mientras que las regiones donde predominan la convergencia en estos niveles, se asocia a las áreas de subida de la presión; quedando así muy bien definidos los patrones de divergencia asociados a esta situación meteorológica, de gran importancia porque es uno de los sistemas de los que surgen los ciclones tropicales.

Brisotes y Brisote Sucio

Se denominan Brisotes a los vientos que soplan de región próxima al Nordeste con velocidades en rachas superiores a los 35 km/h. Estos vientos se producen cuando un anticiclón se halla al norte de Cuba. Su intensidad es muy superior a las brisas. Se puede presentar en cualquier mes del año, pero se presentan con mayor frecuencia en mayo y noviembre.

Se denomina Brisote Sucio a la situación meteorológica que se presenta en los meses de octubre hasta abril por la presencia de un fuerte anticiclón continental sobre el este de Estados Unidos, el cual genera un viento fuerte de componente Nordeste sobre Cuba. Estos vientos, por una parte generan los brisotes, pero como en este caso viene acompañado de nublados y lluvias, se le llama brisote sucio. Este fenómeno generalmente afecta a zonas de la costa Norte desde el nordeste de Pinar del Río hasta la costa norte central, alcanzando a veces el litoral norte oriental.

Estos nublados en forma de cúmulos se forman principalmente durante la noche y la madrugada debido a la acumulación de humedad que estos vientos arrastran durante su recorrido sobre el mar. La nubosidad así formada es llevada hacia la costa por el flujo del Nordeste presente en los niveles más bajos, y produce en la zona costera nublados con chubascos y lluvias a intervalos, los cuales suelen ocurrir generalmente en horas nocturnas, o preponderantemente al final de la madrugada y primeras horas de la mañana. Se ha observado que el brisote sucio está vinculado a la aparición un anticiclón migratorio continental con lento movimiento, el cual se desplaza por latitudes medias y llega a la altura de Cabo Hatteras con valores de presión mayores o iguales a 1028 hPa.

Fenómenos meteorológicos peligrosos no relacionados con ciclones tropicales

Cuando se habla de tiempo severo en la zona tropical, generalmente se asocia a eventos de gran magnitud como los ciclones tropicales. No obstante en esta zona resulta muy común la aparición de lluvias intensas, vientos fuertes, y otros eventos peligrosos que a una escala local se asocian a la actividad diaria de las tormentas eléctricas, por demás muy frecuentes en esta zona, es por ello que además de los ciclones tropicales como fenómenos importantes, estas tormentas severas son consideradas también como fenómenos devastadores, cuya frecuencia es mayor en latitudes medias y bajas, pero que no se les debe restar importancia en nuestra área geográfica. Uno de los fenómenos peligrosos que nos afecta directamente son las Líneas de Tormentas. El impacto socioeconómico de estos sistemas no solamente se debe a su severidad sino a lo extremadamente difícil que resulta su predicción. Esto se debe en gran medida al escaso nivel de conocimiento que actualmente se posee, por la escasa densidad de la red de estaciones meteorológicas, principalmente en el mar y por la rapidez con que se desarrollan estos procesos, tal es el caso de la línea de tormenta que afectó el país el 13 de marzo de 1993 llamada por su severidad La tormenta del siglo.

Las Tormentas Eléctricas se producen por las nubes Cumulonimbus. La vida de una nube tormentosa es corta, más o menos una o dos horas. En ella la visibi-

lidad es nula, y el viento se produce en rachas. Como existen al mismo tiempo corrientes ascendentes y descendentes, las rachas hacia arriba y hacia abajo son frecuentes. Por ello un avión que vuela próximo a una nube Cumulus experimentará grandes sacudidas. Dentro de las tormentas convectivas, existen las Celdas simples, las Multiceldas y las Superceldas, esta última será explicada por la importancia que reviste en el origen de fenómenos severos.

Las Superceldas generalmente se forman en condiciones de alta inestabilidad y vientos fuertes a grandes alturas. Además presentan un sistema más organizado de circulación interna que la hacen tener una duración mucho mayor que las Celdas simples y las Multiceldas. En la Supercelda es común la aparición de fuertes corrientes rotatorias que las hacen ser potencialmente más peligrosa entre todos los tipos de tormentas convectivas. Ellas pueden producir vientos fuertes, grandes granizadas y tornados de larga duración sobre una amplia trayectoria.

¿Quién no recuerda ese aire fresco, fuerte y rachoso que comúnmente acompaña la aparición de la lluvia durante una tormenta? Esa corriente de aire es la llamada "corriente descendente" de las tormentas y es una de las características distintivas de este tipo de fenómeno meteorológico. Su origen está muy vinculado con el proceso de precipitación.

Cuando, dentro de una nube y a grandes alturas, comienza el proceso de precipitación con el choque entre gotas y la caída de las mismas, arrastran el aire frío que las rodea generándose el inicio de una corriente de aire descendente asociado al proceso de inicio de la precipitación. Este aire, al perder altura y por ser más frío y denso es acelerado además por la fuerza de gravedad de la tierra y puede alcanzar, -al tocar tierra- velocidades relativamente altas. Esta masa de aire frío descendente, al chocar con el suelo, se "desparrama" de la misma forma que lo haría el agua de un recipiente que tiráramos al piso, desplazándose horizontalmente y provocando el efecto del viento rachoso y fresco que todos sentimos.

Este es un fenómeno común en todas las tormentas que afecta casi a diario en nuestro verano o en los demás meses del año asociado a sistemas meteorológicos. Los vientos provocados por estas corrientes descendentes, si bien pueden ser molestos en ocasiones y en otras ser la "salvación" contra el calor estival, por lo general se mantienen con velocidades que están muy lejos de ser dañinas. No obstante, en algunos lugares, las tormentas se desarrollan de una forma peculiar, provocando que las corrientes descendentes alcancen velocidades considerables, y trae la destrucción a aquellos lugares por donde pasa. Crean además, un profundo desconcierto de la población afectada, que se pregunta qué ha pasado y confunden este fenómeno con un Tornado.

El término aeroavalanchas fue introducido en la literatura científica cubana en la década de los 80 cuando el eminente meteorólogo cubano Arnaldo Alfonso la usó como similar del término en inglés "downburst", sostiene de forma general su sentido físico original, o sea: áreas de vientos fuertes lineales producidos por la corriente descendente de una Tormenta Local Severa (TLS) dentro de un área que va entre 1 a 10 km de dimensión horizontal. Cuando la aeroavalancha cubre un área de 1 a 4 km y su duración es menor de cinco minutos con velocidades de vientos muy intensos se denominan microavalanchas.

Precipitaciones intensas y granizos

Las tormentas y lluvias intensas constituyen, una amenaza de inundación, además de los otros daños que ocasionan. Por ello se les presta una gran atención. Al fenómeno de la caída del agua de las nubes, en forma líquida o sólida, se llama Precipitación, ya sea en forma de lluvia, llovizna, nieve, o granizo.

La lluvia es aquella precipitación en forma de gotas de agua, que cae de las nubes, y cuyo diámetro por lo general es mayor a 0,5 mm, algo mayor que el

diámetro de una pequeña cabeza de alfiler. Cuando el diámetro de ellas es menor por lo general parecen flotar en el aire entonces se denomina llovizna. En países fríos las gotas de lluvias se pueden formar a partir de cristales de hielo existentes dentro de la nube, si la temperatura es lo suficientemente baja, entonces la precipitación ocurrirá en forma de hielo cristalizado llamado nieve.

En nuestro país se consideran como lluvia intensa aquellas en que las que se acumulan 100 mm o más de lluvia en una localidad durante 24 horas o menos. Su ocurrencia está fuertemente determinada por la combinación de complejos factores que van desde las condiciones atmosféricas prevalecientes hasta los factores físicos-geográficos de la región. Estos pueden ocasionar las precipitaciones intensas a través de dos mecanismos generales: o mediante la acumulación de grandes volúmenes de humedad atmosférica que provoquen caídas de fuertes lluvias o mediante un proceso de regeneración continua de tormentas en un breve espacio y cuyo resultado también sería el de fuertes precipitaciones sobre una localidad específica.

Las condiciones atmosféricas, capaces de favorecer la formación de lluvias intensas, varía sensiblemente de un año a otro por lo que no es extraño que algunos años posean períodos lluviosos más intensos que otros.

Dentro de los tipos de precipitaciones que una tormenta es capaz de producir, existe una que por sus características constituye de por sí un evento peligroso, es el llamado granizo. Se denomina así a los elementos de hielo translúcidos o transparentes que precipitan de una nube de tormenta y cuyo tamaño puede ser tan variable como un chicharro, hasta una pelota de béisbol o algo mayores.

Los tornados

Un tornado es una columna de aire en violenta rotación unida a una nube tormentosa. Se observa casi siempre como una nube en forma de embudo. Su vórtice usualmente tiene un diámetro de varias decenas de metros y desarrolla vientos del orden de 150 a 400 km por hora. Debido a la dinámica de su formación, el centro del embudo se caracteriza por tener una presión atmosférica bastante baja. La dirección de translación está gobernada por el movimiento de la nube madre pero, en la superficie de la tierra, el movimiento en muchos casos es errático y salteado.

Los daños causados por un tornado dependen de la trayectoria que siga la punta del cono que toca la superficie de la tierra, como estas dimensiones son relativamente pequeñas y su trayectoria es errática, los daños que causan son muy localizados, de ahí es que estructuras poco resistentes cercanas a la trayectoria del tornado permanecen casi intactas, mientras que otras más sólidas afectadas directamente resultan totalmente destrozadas.

Las trombas marinas

Su apariencia es la de un gran tubo, similar al tornado, que cuelga de la base de la nube. Forman grandes torbellinos en la superficie del mar acompañados por un zumbido característico. Sus efectos suelen ser locales y provocan vientos de enorme intensidad que pueden llegar a levantar una gruesa capa de agua en función de la duración del fenómeno resultan por lo general menos intensas que los tornados.

Escala que se utiliza para clasificar los tornados.

Los tornados se clasifican para su estudio mediante escalas que generalmente se basan, como en el caso de los huracanes o de los terremotos, en los daños potenciales que son capaces de producir. La escala para los Tornados que se utiliza en Cuba, al igual que en

Tabla 2. Escala Fujita-Pearson para la clasificación de los tornados.

	<i>Velocidad máxima de los vientos (km/h)</i>	<i>Daños provocados</i>
F0	Menos de 120	Ligero
F1	121-180	Mediano
F2	181-250	Considerable
F3	251-320	Severo
F4	321-420	Desastrosos
F5	421-580	Increíble
	Largo de la trayectoria (km)	Ancho de la trayectoria (m)
P0	Menos de 1.5	Menos de 15
P1	1.6-5	16-50
P2	5.1-16	51-160
P3	16.1-50	161-500
P4	50.1-160	501-1500
P5	160.1-500	1501-5000

todo el hemisferio occidental, es la llamada Fujita – Pearson, que se muestra en la tabla 2.

La actividad eléctrica (el rayo, el relámpago y el trueno)

La chispa eléctrica que llega a tierra recibe el nombre de rayo, mientras que, la chispa que va de una nube a otra, es llamada por algunos relámpago, aunque normalmente los dos son usados como sinónimos del mismo fenómeno. La aparición del rayo es sólo momentánea, seguida a los pocos momentos por el trueno.

El rayo es una enorme chispa o corriente eléctrica que circula entre dos nubes o entre una nube y la tierra, puede cruzar kilómetros de distancia y se origina dentro de una nube Cumulonimbus. Es uno de los fenómenos más peligrosos de la atmósfera. Dura unos pocos segundos, es siempre brillante y casi nunca sigue una línea recta para llegar al suelo o quedarse suspendido en el aire, adoptando formas parecidas a las raíces de un árbol.

El calor producido por la descarga eléctrica calienta el aire y lo expande bruscamente ; cuando el aire de los alrededores del canal del rayo ocupa el vacío formado por éste, se originan ondas de presión que se propagan como ondas sonoras. Cuando esas ondas sonoras llegan al observador, éste percibe el ruido denominado trueno.

La velocidad del sonido del trueno se propaga más lentamente que el rayo. El rayo, por ser un fenómeno luminoso, se propaga a la velocidad de la luz, es decir 3 000 000 km/seg, mientras que el sonido se propaga en el aire a unos 300 m/seg. Por esta razón el trueno se oye después de desaparecer el rayo.

Inundaciones costeras por penetración del mar, sistemas que la originan y zonas más afectadas del país

Por sus características de insularidad y posición geográfica, el territorio cubano se encuentra ocasionalmente sometido a la influencia de fenómenos meteorológicos que producen inundaciones costeras por penetración del mar en tierra. Según datos del Instituto de Planificación Física, más de 10 % de la población vive a una distancia entre 0 y 1 000 m de la línea costera, en unos 244 asentamientos humanos de los cuales 52 han reportado inundaciones costeras por penetraciones del mar, además del caso particular de la Ciudad de La Habana, están sometidos al peligro de máximo impacto más de 100 mil habitantes. Bajo la influencia

de eventos meteorológicos acompañados por fuertes vientos, se produce una sobre elevación (un incremento) del nivel medio del mar que conduce al transporte de masas de agua hacia el litoral. La situación en algunos lugares se agrava por las deformaciones del drenaje natural, la deforestación, la presencia de terrenos bajos y la ausencia o deficiencia de los drenajes de las zonas urbanas, entre otros aspectos. Se ponen en peligro las vidas humanas, se dañan las urbanizaciones, las infraestructuras técnicas, las instalaciones portuarias, los objetos industriales y agrícolas, e incluso el entorno natural. Los eventos meteorológicos que generan estas inundaciones son los ciclones tropicales, los frentes fríos y los sures (vientos de región sur asociados a bajas extratropicales). La sobre elevación del nivel del mar ocurre por rompiente de oleaje, por arrastre del viento y por marea de huracán. Habitualmente se combinan los dos primeros tipos de sobre elevación, y en el caso de las surgencias de huracán, están presentes las tres formas. Predomina una u otra, en dependencia del tipo de costa.

Los tramos más sensibles a las inundaciones costeras son los siguientes: La costa suroccidental, desde el oeste de la Ensenada de Cortés hasta Bahía de Cochinos y es el de máxima frecuencia, tanto por afectación de ciclones tropicales como por sures e incluye al Golfo de Batabanó como el área más sensible. a) El litoral norte de la Ciudad de la Habana, donde se localiza el malecón habanero. Predominan las inundaciones por rompiente de oleaje, generadas tanto por frentes fríos como por ciclones tropicales.

b) La costa sur de la región central, desde Punta María Aguilar a Cabo Cruz, donde se encuentran los Golfos de Ana María y Guacanayabo y es afectada por los ciclones tropicales y sures.

c) A las regiones anteriores, siguen en orden de sensibilidad el tramo Bahía de Cárdenas - Puerto de Nuevitas y el correspondiente a Baracoa en el extremo nororiental de Cuba. En el malecón de Baracoa, la pendiente abrupta favorece las inundaciones por rompiente de oleaje.

Los ciclones tropicales, su clasificación y las zonas del mundo donde se originan

Un ciclón tropical es un término genérico que se emplea para designar a los sistemas de baja presión que se forman en los océanos, en un ambiente homogéneo y generalmente en la zona tropical. El ciclón tropical está acompañado de una amplia área de nublados, con lluvias, chubascos y tormentas eléctricas y tiene asociada una circulación superficial de los vientos en sentido contrario al de las manecillas del reloj en el hemisferio norte, siendo en el mismo sentido que éste en el hemisferio sur.

Condiciones necesarias para la formación de los ciclones tropicales. Ciclo de vida. Zonas del mundo donde se originan

Los ciclones tropicales se forman sobre las aguas cálidas de la zona tropical o subtropical a partir de perturbaciones pre-existentes, que consisten en áreas

de inestabilidad, como son las ondas tropicales. Pueden también formarse en la zona de inestabilidad del extremo sur de un frente frío y, a veces, a partir de zonas de baja presión de núcleo frío (bajas frías) en la atmósfera superior.

Hay varias condiciones que posibilitan que un ciclón tropical se forme y se desarrolle hasta convertirse en huracán. Se relacionan tres condiciones que son completamente necesarias:

1. Perturbación pre-existente : área extensa de nubosidad con lluvias, chubascos y tormentas eléctricas.
2. Temperatura cálida de las aguas del océano: 26,6 °C o superior, hasta una profundidad de al menos 45 metros.
3. Vientos en la atmósfera superior : que sean débiles y no cambien mucho de dirección y velocidad a través de la altura de la atmósfera (bajo cizallamiento).

Mediante el contacto con las aguas cálidas del océano, la perturbación pre-existente recibe el calor y la energía. Comienza a formarse una zona donde la presión atmosférica es algo inferior a la de los alrededores. Cerca de la superficie del océano, los vientos empiezan a girar como un torbellino con centro en la zona de baja presión de la perturbación. Durante estas primeras etapas, el sistema meteorológico se compone de un agrupamiento relativamente poco organizado de chubascos y tormentas eléctricas. Las aguas cálidas del océano agregan más humedad y calor al aire que sube, y a medida que la humedad se condensa se forman los chubascos y lluvias, se genera más calor, lo cual suministra energía adicional al sistema. La configuración de la atmósfera superior debe garantizar que el aire que penetra por los niveles superficiales salga al exterior del sistema por los niveles superiores. Así que si los vientos en altura son débiles y varían poco en dirección, la energía puede seguir concentrándose, el sistema puede fortalecerse y transformarse en una depresión tropical. Llegado este punto, el sistema comienza a adquirir el familiar aspecto en espiral, debido al flujo de los vientos y a la rotación terrestre.

Si las condiciones oceánicas y de la atmósfera superior continúan siendo favorables, el ciclón sigue fortaleciéndose hasta convertirse en una tormenta tropical, las bandas de chubascos y tormentas añaden más calor y humedad y el ciclón pasa - relativamente en poco tiempo- al estadio de huracán. Es en este momento cuando suele formarse el llamado ojo del huracán, debido a que el aire baja rápidamente por el centro, secando y calentando esa zona, en la cual no hay nubes y el viento está en calma (figura 6).

El ciclo de vida de un huracán puede durar más de dos semanas sobre las aguas del océano y en ese período puede recorrer una larga trayectoria.

De la misma manera en que varios factores contribuyen a la formación de un huracán, existen otros que promueven su debilitamiento y disipación. El huracán puede debilitarse o disiparse sobre el mar debido a la existencia de fuertes vientos superiores o gran diferencia en dirección y velocidad entre los vientos a diversos niveles, desde la superficie hasta 10 a 12 km de altura. Entonces se dice que hay una fuerte cizalladura vertical del viento, también puede debilitarse si se desplaza sobre aguas más frías o sobre una zona más seca. Típicamente, una vez que un huracán alcanza tierra firme, pierde la fuente principal de humedad y la circulación superficial puede verse reducida por la fricción con la topografía del terreno. Por lo general, un huracán o un ciclón tropi-

13-1-1981. Primera transmisión del pronóstico del tiempo por un meteorólogo de manera estable y sistemática por la televisión.

1988. Se constituye el Grupo Intergubernamental de Expertos OMM/PNUMA sobre el Cambio Climático (IPCC).

11-9-1988. Primer vuelo de meteorólogos cubanos al centro de un huracán.

1990. La Segunda Conferencia Mundial sobre el Clima da inicio al Sistema Mundial de Observación del Clima. Comienza el Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales.



Fig. 6. Estructura de las nubes de un huracán. Se observa en el centro el "ojo", sin nubes, y las bandas espirales de intensa actividad.

cal que está debilitándose puede volver a cobrar mayor intensidad si se desplaza hacia una región más favorable o interactúa con un sistema frontal de las latitudes medias.

Las condiciones generales de formación y desarrollo de los ciclones tropicales ocurren durante los meses de verano en los océanos tropicales del mundo, con la excepción del Atlántico sur y de la porción sudeste del Pacífico, debido a que en estas zonas, a pesar de ser tropicales, las capas superficiales del océano son relativamente frías, con temperaturas por debajo de los 26,5 °C.

La temporada ciclónica. Zonas de formación de ciclones tropicales en el Atlántico Norte, el Mar Caribe y el Golfo de México durante los diferentes meses de la temporada ciclónica

Oficialmente, la temporada de ciclónica o de huracanes comienza el 1º de junio y termina el 30 de noviembre en la cuenca del Atlántico (que comprende el Océano Atlántico, el Mar Caribe y el Golfo de México). La parte más activa de la temporada ocurre entre mediados de agosto y finales de octubre. Sin embargo, pueden producirse huracanes en cualquier momento durante la temporada.

Por lo general, las zonas donde se desarrollan los huracanes y las trayectorias que éstos siguen están relacionadas con el mes en que se forman. A comienzo y fin de la temporada (junio, octubre y noviembre) los ciclones tropicales se forman en el Mar Caribe occidental y en el Golfo de México, mientras que en los meses centrales de la temporada (julio, agosto y septiembre) se forman en el Atlántico, usualmente entre África y las Antillas Menores. Estas son las condiciones promedio; sin embargo, los huracanes pueden crearse en distintos lugares. No obstante, si se hace una idea del patrón general, podrá llegar a comprender mejor que en Cuba los meses más peligrosos son los del inicio y fin de la temporada por su formación en el Mar Caribe occidental.

Cada año, se desarrollan como promedio diez tormen-

Tabla 3. Promedios mensuales de la formación de tormentas tropicales en la región.

Período	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre
1886-2000	0.5	0.7	2.1	2.9	1.8	0.4

tas tropicales sobre el Océano Atlántico, el Caribe y el Golfo de México, muchas de las cuales nunca salen de las aguas del océano.

La distribución de los promedios de formación por meses es la siguiente: El movimiento de los ciclones tropicales. Trayectorias más comunes en el Atlántico

A parte del movimiento de rotación espiralada de los vientos alrededor del centro de baja presión, los ciclones tropicales se desplazan como un todo hacia regiones geográficas a veces muy distantes de la zona donde surgió. La dirección del movimiento es gobernada por los sistemas que rodean al ciclón tropical, sean estos anticiclones u ondas superiores. Como para cierta época del año hay coincidencia de similar situación de los sistemas meteorológicos, se dan regularidades en el movimiento de los ciclones tropicales, aunque a veces se producen grandes excepciones.

El movimiento de los ciclones tropicales se produce de manera general en dos ramas de una parábola, la primera rama con rumbo general al Oeste u oestenoroeste, para llegar a un punto de recurva en el que disminuye su velocidad o se estaciona, para cambiar drásticamente la dirección de su movimiento, tomando entonces una segunda rama hacia el Norte, nortenordeste y después al nordeste.

En los meses de junio, octubre y noviembre, el movimiento general es próximo al Norte, mientras que julio, agosto y septiembre, las trayectorias son alargadas, extendiéndose desde la costa de África con orientación general hacia el Oeste.

Clasificación de los ciclones tropicales

Los ciclones tropicales se clasifican de acuerdo a la velocidad que alcanzan los vientos máximos sostenidos (promediados en un minuto), de la siguiente manera:

- Depresión tropical: vientos máximos sostenidos inferiores a 63 km /h.
- Tormenta tropical: vientos máximos sostenidos entre 63 y 117 km /h.
- Huracán: vientos máximos sostenidos superiores a 117 km /h.

La escala Saffir/Simpson de clasificación de huracanes

Se llama huracán al ciclón tropical totalmente desarrollado. Como los mismos se clasifican a partir de los vientos máximos sostenidos (1 minuto) y su poder destructivo aumenta rápidamente, ya que depende no

Tabla 4. Escala Saffir-Simpson para la clasificación de los huracanes.

Categoría	Viento máximo sostenido (km/h)	Daños
1	118-153	Mínimos
2	154-177	Moderados
3	178-209	Extensos
4	210-250	Extremos
5	>250	Catastróficos

de la velocidad del viento, sino del cuadrado de esta variable, se ha puesto en uso la clasificación de los huracanes en una escala de cinco categorías, llama-

da escala Saffir-Simpson. Esta escala es la siguiente:

Los huracanes de categoría 3 o superiores se denominan huracanes de gran intensidad.

Elementos peligrosos en un ciclón tropical

Los principales elementos peligrosos relacionados con los ciclones tropicales, y especialmente con los huracanes, son la marea de tormenta, las lluvias torrenciales, las inundaciones, los vientos intensos, y los tornados. Veamos en que consiste cada uno de estos elementos.

- Marea de Tormenta: De todos los peligros relacionados con un huracán, la marea de tormenta es la que presenta una mayor amenaza en cuanto a la vida de la población. Es un vasta zona donde el agua se acumula hasta formar una bóveda de 80 a 160 km de ancho que atraviesa la costa a la derecha de la trayectoria referida al punto de entrada del huracán a tierra, y no es más que el agua que la fuerza de los vientos empuja hacia la costa. A ello se le suma la marea astronómica regular de la zona para crear la marea de tormenta del huracán. El avance de esta pared de agua, que puede sobrepasar los 5 ó 6 metros de altura -al que hay que sumarle la altura de las olas que se desplazan por encima de ella- es devastador. En la costa, esta sobreelación del nivel del mar constituye el mayor peligro para la población y las propiedades y ocasiona graves inundaciones en las zonas costeras, especialmente cuando coincide con la marea alta regular.
- Las lluvias torrenciales: El ciclón tropical es un sistema productor de lluvia. Cuando un ciclón tropical toca tierra, es común que deje entre 100 y 300 mm o más de lluvia en una amplia zona, no obstante, la lluvia no depende de la intensidad del ciclón tropical. Sin embargo, un desplazamiento lento o errático sobre una misma área, una zona de topografía accidentada y la interacción con otros sistemas meteorológicos, ocasiona lluvias torrenciales que a su vez producen grandes y devastadoras inundaciones. El grado de peligro que representan las inundaciones depende, además del nivel de saturación del suelo, por lo que sí después de varios días con lluvias ocurre la afectación de un ciclón tropical, las inundaciones son mucho más extensas y mortíferas. Los deslizamientos de tierra en zonas montañosas es otro factor muy peligroso que se produce a consecuencia de las lluvias intensas. En los estadios de Depresión Tropical y Tormenta Tropical, las lluvias generalmente están alejadas del centro y ocurren hacia la derecha entre 100 y 300 km de distancia del centro.
- Los vientos intensos: Los ciclones tropicales se clasifican, como ya se dijo, de acuerdo a la velocidad de los vientos máximos sostenidos promediados en un minuto. El poder destructor del viento aumenta rápidamente con su velocidad, ya que depende no de la velocidad en sí del viento, sino del cuadrado de esa velocidad. Los vientos de una depresión tropical son usualmente débiles y sólo ocasionan daños en estructuras débiles o en cultivos de poca raíz y amplio follaje como el plátano. En una tormenta tropical son lo suficientemente fuertes como para representar ya una cierta amenaza.
- Los vientos de intensidad de huracán pueden fácilmente destruir una casa o un edificio cuya estructura es de mala calidad. Durante un huracán, los escombros, los carteles, las tejas y materiales que se desprenden de los techos y cualquier objeto pequeño que se haya dejado afuera, se transforman en proyectiles. Posee vientos intensos que soplan generalmente en el lado derecho de la pared del ojo del huracán.
- Las rachas son intensidades grandes del viento, en sólo 2 a 3 segundos de duración, que superan al viento máximo sostenido de 1,2 a 1,5 veces su valor. Son las que más daños ocasionan.
- Los vientos de intensidad de huracán también pueden dañar también los edificios altos ya que la fuerza del viento suele aumentar con la altura hasta en una categoría de la escala Saffir-Simpson.

Descripción del paso de un huracán por una localidad. Características encontradas en el “ojo”

Cuando un huracán se acerca a una localidad, el observador ve que de hora en hora se incrementa la frecuencia y la intensidad de los chubascos y tormentas eléctricas, los vientos van aumentando y el tiempo en general va deteriorándose rápidamente. Despues vendrá el huracán en toda su intensidad, y si el ojo pasa por la localidad, entonces abruptamente vendrá la calma, saldrá el sol si es de día o se verán las estrellas y la luna si es de noche, pues el cielo estará despejado o con nubes altas, un cierto tiempo despues, volverá el huracán en toda su furia, y a veces lo peor ocurre despues de pasar el ojo.

La estructura horizontal de un huracán se compone de: centro u ojo, pared del ojo y bandas espirales de lluvia que conforman el cuerpo del huracán. El aire se mueve hacia el centro en espiral, en dirección generalmente contraria a la de las manecillas del reloj y sale por arriba, a alturas entre 5 y 10 km, en la dirección opuesta.

Esta descripción será mejor comprendida despues que se analicen las distintas partes de la estructura del huracán como se verá a continuación:

- **El Centro u ojo del huracán:** El ojo no existe en los estadios de depresión tropical y tormenta tropical. Aparece en el primer estadio del huracán, a veces cercano a la categoría 2. Esto ocurre porque es necesaria una velocidad apreciable del viento que genere en el centro de rotación una zona donde las fuerzas se equilibren, y el aire desciende seco y más cálido, formando la zona sin nubes del ojo, este puede medir entre 30 y 60 km de diámetro.
- **La pared del ojo:** La densa pared de tormentas eléctricas y chubascos que rodea al ojo, es la zona de mayor convergencia del aire superficial, por tanto es donde se encuentran los vientos más intensos del huracán. Un cambio en esta durante cualquier momento de la vida de un huracán, puede alterar la velocidad del viento, que es una indicación de la intensidad del sistema. El diámetro del ojo puede aumentar o disminuir en tamaño y es posible que se formen dos paredes concéntricas alrededor del ojo. En los sistemas débiles pueden aparecer hasta dos y tres ojos o centros de circulación, pero por poco tiempo.
- **Las bandas de lluvia en espiral:** Las bandas de lluvia externas del huracán (cuyos vientos a menudo alcanzan intensidad de huracán o de tormenta tropical) pueden extenderse a varios cientos de kilómetros del centro. A veces, estas bandas y el ojo quedan ocultos por las nubes altas; en estos casos, lo que resulta difícil para el pronosticador usar las imágenes de satélite para seguir el movimiento del ciclón, sobre todo de noche.

Algunos huracanes importantes en la historia de Cuba. Sus efectos

La mayor catástrofe natural en la historia de Cuba está relacionada con la marea de tormenta o surgencia. Una marea de tormenta de 6 metros de altura asociada a un huracán de gran intensidad el 9 de noviembre de 1932 en Santa Cruz del Sur, Camagüey, arrasó la población, que resultó literalmente barrida del mapa, con el triste saldo de más de 3 000 muertos.

Las lluvias torrenciales asociadas con el huracán Flora del 4 al 7 de octubre de 1963 ocasionaron en la región oriental del País la segunda catástrofe natural



Fig. 7. El Parque Maceo en la Capital, bajo los efectos del huracán de 1926.

de nuestra historia. El lento y errático movimiento del huracán sobre zonas montañosas produjo acumulados de hasta 1 800 mm en 72 horas, prácticamente la lluvia de un año en tres días. Hubo que lamentar más de 1 000 muertes.

Los vientos alcanzaron rachas de 262 km/h en la capital del país durante el huracán del 18 de octubre de 1944, los que soplaron durante 14 horas, y se mantuvieron 7 horas por encima de los 200 km/h. Se reportaron 300 muertos. Otro importante huracán del siglo XX fue el del 20 de octubre de 1926 en la Capital del país (figura 7), el cual ocasionó 600 muertos.

El pronóstico de los huracanes y su impacto en la Sociedad. Los sistemas de aviso y mitigación en caso de ciclones tropicales.

Catástrofes como las anteriormente mencionadas son afortunadamente algo del pasado que nunca volverá. Cuba tiene ahora un moderno sistema de pronósticos y avisos, una Defensa Civil con planes concretos de protección en los que participan todos, y una voluntad política que prioriza la protección de la vida humana. Gracias a los adelantos que se han logrado en los últimos 20 años en materia de tecnología, modelos de huracanes por computadora, conocimiento y la experiencia de los pronosticadores, ha aumentado enormemente la precisión de los pronósticos. Pese a estos adelantos, aún no se comprenden plenamente las complejas interacciones que se originan en la atmósfera y no se pueden producir modelos adecuados de ellas, lo cual limita la exactitud de los pronósticos. Pronosticar huracanes sigue siendo una tarea muy difícil, quiere decir que ningún pronóstico puede ser perfecto, por tanto tienen un grado de incertidumbre con el que hemos aprendido a vivir, lo que ha contribuido a reducir considerablemente la cantidad de muertes. Para pronosticar huracanes, como otros sistemas meteorológicos se emplean diferentes técnicas, modelos de pronóstico y seguimiento por satélite y radar. Los modelos de pronóstico son esquemas matemáticos que a partir de condiciones atmosféricas dadas, prevén las futuras. En el caso de los ciclones tropicales hay técnicas climatológico-persistentes, sinóptico-estadísticas y dinámicas.

Las climatológico-persistentes están relacionadas con

el archivo histórico de ciclones tropicales del pasado, como se comportaron según la época del año y el movimiento que han tenido en las 12 ó 24 h anteriores. Son esquemas que sólo se usan en la actualidad cuando el ciclón tropical está en áreas muy distantes y se tienen pocos datos. Los esquemas sinóptico-estadísticos parten de ecuaciones estadísticas que toman en cuenta la configuración y valor de los sistemas atmosféricos y su interacción con el ciclón tropical.

Los modelos dinámicos son los de mejor funcionamiento en la actualidad y permiten vislumbrar el estado futuro de la atmósfera con bastante certidumbre en plazos de 72 h, en especial los sistemas de altas presiones y ondas superiores que están próximos e influyen el ciclón tropical.

Pero el meteorólogo no confía ciegamente en los modelos. Los analiza todos, conoce sus virtudes y defectos, y emplea su experiencia y habilidad a la hora de tomar la decisión o pronosticar la futura trayectoria y evolución del ciclón tropical. Es entonces, que se hacen los Avisos de Ciclón Tropical, los cuales son rápidamente transmitidos por la radio y la televisión. Los pronosticadores deben analizar una enorme cantidad de datos, incluidos los resultados de los distintos modelos numéricos, que pueden estar en conflicto entre sí, y luego realizar el mejor cálculo posible para brindar un pronóstico de trayectoria e intensidad para 72 h. Al igual que nos resulta más fácil predecir dónde estaremos en 12 que en 72 h, es más fácil predecir dónde estará un huracán justo antes de que toque tierra (aunque su trayectoria puede cambiar inesperadamente). Cuando el período de pronóstico es breve, el error en la trayectoria pronosticada es relativamente menor, mientras que cuando el pronóstico es para un período más prolongado, el margen de error aumenta considerablemente. Si está consciente de la existencia de estos errores en las previsiones, podrá evaluar mejor el potencial de peligro.

Aunque la intensidad de un huracán ofrece una indicación de su capacidad de destrucción, el impacto de un huracán depende de dónde y cuándo azota.

Pronóstico estacional en ciclones tropicales

Muchos científicos han tratado de descubrir maneras

de predecir la actividad ciclónica a largo plazo. No se ha detectado ninguna relación entre la actividad ciclónica al comienzo de la temporada de huracanes y dicha actividad durante el resto de la temporada pero, sí sabemos que, a lo largo de muchos años, los huracanes presentan ciclos de mayor y menor actividad. Los estudios actualmente en curso son prometedores en lo que se refiere a pronosticar la actividad anual de las tormentas tropicales y los huracanes con un año o más de anticipación. No existen (y es probable que nunca lleguen a existir) técnicas que permitan pronosticar a largo plazo los lugares específicos en los que azotará un huracán.

El sistema de avisos y alertas de ciclones tropicales

La alerta temprana representa un elemento de gran utilidad al informar con suficiente antelación (superior a 48 h e inferior a 120 h) a las autoridades que deben tomar decisiones, de concretarse el peligro, de la posibilidad de que algún fenómeno meteorológico peligroso afecte a zonas del territorio nacional. Esta es una alerta de que algo puede suceder y promueve la preocupación, por la percepción creciente de un posible peligro.

Ya a períodos de tiempo inferiores a 48 h, las alertas vienen contenidas en los avisos de ciclón tropical. Estos avisos se emiten con una mayor frecuencia a medida que está más próximo el ciclón. Cuando éstos se encuentran situados al Este del meridiano 55 °W o al Norte del paralelo 30 °N, se emiten cada 24 h a las seis de la tarde; si el ciclón tropical ha penetrado, o se ha generado, dentro de los límites señalados anteriormente, los avisos se emiten cada 12 h, a las 6 pm y 6 am, por otra parte, si el ciclón tropical representara algún peligro para Cuba en las próximas 72 h, los avisos de ciclón tropical se emiten cada 6 h, a las 6 pm, 12 pm, 6 am y 12 m.

La interacción con los medios y la defensa civil

Es muy importante la interacción de los pronosticadores con los medios de difusión principalmente (radio, televisión, etc.) y la Defensa Civil. A través de ellos, los meteorólogos dan conocer sus pronósticos a la población. Ante la amenaza de un Ciclón Tropical o cualquier otro fenómeno meteorológico peligroso de gran envergadura, las cámaras de la TV y los micrófonos de las cadenas nacionales de radio se trasladan a la sede del Centro Nacional de Pronósticos y desde allí se dan a conocer los avisos y cualquier otra información actualizada. Los pronosticadores interactúan con los periodistas, así se brinda una información oficial y única, en la que nuestro pueblo tiene una gran confianza.

La prensa escrita, debido a su mayor lentitud de difusión, no puede dar estos avisos actualizados. Sin embargo, la información complementaria que aparece en los artículos que publica es de gran utilidad para que se conozcan más detalles de la situación meteorológica general y de la amenaza del ciclón tropical en particular. Los medios de difusión divulgán, además, el esfuerzo que hace el País para proteger a la población y la economía a través de las orientaciones emitidas por el Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil y los Consejos de Defensa Provinciales.

El Sistema Nacional de Defensa Civil en casos de ciclón tropical

Es de suma importancia la interacción de los pronosticadores con este sistema, porque sus orientaciones son las que permiten disminuir las pérdidas humanas y materiales. La Defensa Civil tiene establecida cuatro fases ciclónicas. Las orientaciones se toman teniendo en cuenta que debe terminarse la evacuación antes de que comiencen a manifestarse

las lluvias intensas, que pueden dejar incomunicados los caminos, y antes de que comiencen a soplar los vientos de intensidad de tormenta tropical, no los de intensidad de huracán. Se toman en consideración además otros factores para garantizar en todo momento la seguridad de la población, tales como el no realizar la evacuación de noche a menos que sea imprescindible hacerlo. Las cuatro fases ciclónicas son:

- La fase informativa por ciclón tropical: Se establece por el Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil (EMN-DC) cuando el Centro de Pronósticos del INSMET (CP) ha informado del surgimiento o la existencia de un ciclón tropical y de su posible aproximación a cualquier punto del país en un período de tiempo próximo a las 72 horas, tomando además en consideración las características del organismo ciclónico.
 - La fase de alerta ciclónica: Se establece por el EMN-DC cuando el CP ha informado que un ciclón tropical puede comenzar a afectar a alguna parte del territorio nacional en las próximas 48 h.
 - La fase de alarma ciclónica: Se establece por el EMN-DC cuando el CP ha informado que es inminente la afectación al país de un ciclón tropical en las próximas 24 h.
 - La fase recuperativa: Se establece una vez que el fenómeno meteorológico haya dejado de afectar a un territorio dado y si es necesario la realización de trabajos de liquidación de las consecuencias.
- Para el establecimiento de las fases ciclónicas la Defensa Civil tiene en cuenta además :
- a) Las características propias del sistema meteorológico (depresión tropical, tormenta tropical o huracán).
 - b) Intensidad de los vientos máximos y áreas de lluvia que acompañan al ciclón tropical.
 - c) Características específicas del territorio amenazado (costa, llano, montañas, ríos, etc.)
 - d) Estado de las presas y del manto freático.

Los pronósticos del tiempo.

Tipos de pronósticos: sinópticos, estadísticos, sinóptico-estadísticos y dinámicos

Los pronósticos del tiempo han desafiado al hombre desde los tiempos más remotos, y buena parte de la sabiduría acerca del mundo exhibida por los diferentes pueblos se ha identificado con la previsión del tiempo y los almanaques climatológicos. No obstante, no se avanzó gran cosa en este campo hasta el siglo XIX, cuando el desarrollo en los campos de la termodinámica y la aerodinámica suministraron una base teórica a la meteorología. Después de la I Guerra Mundial, el matemático británico, Lewis Fry Richardson, realizó el primer intento significativo de obtener soluciones numéricas a las ecuaciones matemáticas para predecir elementos meteorológicos. Aunque sus intentos no tuvieron éxito en su época, ahora las modernas computadoras permiten un progreso explosivo en la predicción meteorológica numérica.

Los métodos de pronóstico pueden ser divididos en tres grandes grupos:

- de características sinópticas
- de características estadísticas
- de características dinámicas

El método sinóptico de estudio y predicción del tiempo consiste en el análisis de los mapas sinópticos y en dependencia del modo en que estos se analicen, el método se presentará de diferente forma. Ha sido característico que a partir de la década de los 60 hacia acá, la meteorología sinóptica se ha ido liberando cada vez más del subjetivismo y ha convertido el pronóstico en un cálculo de las variables del tiempo. Así, en la actualidad, este método recibe un nuevo contenido y se proponen nuevas metas, siendo uno de los méritos más importantes del método sinóptico por su claridad y operatividad.

El método sinóptico sólo da buenos resultados en el plazo de 12 a 24 h.

Los pronósticos estadísticos se apoyan en las diferentes relaciones y técnicas estadísticas entre la influencia meteorológica observada en una u otra estación o en diferentes estaciones, en uno u otro nivel o en diferentes niveles, en uno u otro momento o en intervalos de tiempo. Estas relaciones se expresan por ejemplo con ayuda de las ecuaciones de regresión y sus correspondientes gráficos.

Los métodos analógicos por su parte, trabajan sobre la base de archivos gigantescos de datos, teniendo en cuenta la ubicación del sistema a pronosticar, tanto su latitud, longitud y fecha como el rumbo, la rapidez, etc. Cuando se presenta una situación determinada, al aplicar estos tipos de métodos estadísticos, se selecciona cuál situación (o cuáles si hay más de una) es la que más similitud tiene con el caso actual y se pronostica según lo que ocurrió en ese (o esos) caso(s).

Las principales dificultades o limitantes de los métodos estadísticos están dadas en que la cantidad de información acumulada para el esquema de pronóstico no es siempre suficiente. Estos métodos son buenos para períodos comprendidos entre las 12 y las 36 h.

Los métodos dinámicos, se denominan también numéricos o hidrodinámicos. Desde el punto de vista de la física teórica, el problema del pronóstico del tiempo puede expresarse como el valor de una variable en un punto, aplicarle las ecuaciones que gobiernan los procesos atmosféricos y a partir de ellas conocer el valor de la variable dada en un instante determinado del futuro.

Estos métodos, a diferencia de los sinópticos y los estadísticos, no son ni rígidos ni estáticos en cuanto a datos iniciales se refiere, pues en este tipo de pronóstico, los datos evolucionan constantemente y es por eso que estos métodos resultan una mejor aproximación a la realidad que los anteriores. Mientras mejor sea la calidad de los datos iniciales y el método físico - matemático utilizado, mejor será el resultado.

La falta de datos en algunas regiones del planeta es otra dificultad que también se presenta en los modelos numéricos; no obstante, para los plazos superiores a 48 h y hasta poco más de 168 h, el pronóstico por métodos dinámicos es ya insuperable.

El pronóstico oficial se basa, en buena medida, en el conocimiento y la experiencia del pronosticador, que toma la decisión final, junto a la guía dada por la valoración objetiva de la situación obtenida de los modelos de pronósticos.

Distribución espacio – temporal de los pronósticos del tiempo

Los pronósticos del tiempo son preparados en dependencia sobre todo del grado de detalle y de la precisión que requiere el propósito específico que tengan, serán las técnicas que se apliquen, las que pueden variar grandemente. Se pueden clasificar teniendo en cuenta el rango de validez de los mismos en primer lugar.

- Pronósticos a muy corto plazo: Son los que tienen una validez inferior a tres horas. Están comprendido los fenómenos de pequeña escala cuya duración oscila desde uno hasta 12 horas. La escala espacial para este tipo de pronóstico es la mesoscala, de 2 a 2000 km.
- Pronósticos a corto plazo: Son aquellos pronósticos para períodos desde 12 a 72 horas. Se reconocen a los fenómenos a escala sinóptica (1000 a 8000 km) con una duración de 24 a 48 h, se emiten diariamente, sobre todos los aspectos del tiempo que afectan a la actividad humana y se divulgan por los diferentes medios de difusión masiva. También se confeccionan en este rango los avisos especiales de fenómenos meteorológicos peligrosos que son de interés para el público e intereses especiales, agricultura, industria, intereses marinos y en todas las actividades socioeconómicas de un país.
- Pronóstico a plazo medio: Son los pronósticos que tienen un rango de validez de más de 72 h hasta

10 días. Los fenómenos se registran en la escala espacial hemisférica, aproximadamente 10 000 km, con sistemas meteorológicos que tienen una duración desde 24 h hasta 5 días.

Tabla 5. Terminología empleada en los pronósticos de nubosidad.

Terminología	Octavos de cielo cubierto	Sinónimos
Despejado	0 Octavos	Soleado, sin nubes
Poca nubosidad	1-3 Octavos	Mayormente soleado, pocas nubes
Parcialmente	4-5 Octavos	Algunas nubes y sol
Nublado		Nublado, algunas nubes con intervalos de sol
Nublado	6-8 Octavos	Muy nublado, abundante nubosidad, cielo cubierto

La confección de un pronóstico del tiempo. Variables y terminologías

Para la emisión de un pronóstico del tiempo es necesario contar con una terminología que sirva para la mejor transmisión de lo que el meteorólogo pronosticador estima que va a ocurrir. Una terminología dada no puede evitar totalmente el tecnicismo. Sin embargo, en el Sistema Nacional de Pronósticos de nuestro país se ha tratado de combinar los términos que resulten imprescindibles con un lenguaje coloquial y claro, para que sea comprensible por nuestra población, sirve además a los propósitos de la evaluación automatizada del pronóstico.

Tabla 6. Terminología empleada en los pronósticos de precipitación.

Aisladas lluvias (chubascos, tormentas)	1-39 % del área
Algunas lluvias (chubascos, tormentas)	49 - 69 % del área
Numerosas lluvias (chubascos, tormentas)	70 - 99 % del área

- **NUBOSIDAD:** La nubosidad total es la parte de cielo cubierta a la vista del observador. Esta se divide en ocho partes (octavos), cada una de las cuales se llama Okta u octavos de cielo cubierto. Para la nubosidad se usa la terminología siguiente:
- **PRECIPITACION:** La precipitación se pronostica para territorios atendiendo a su distribución espacial. Es uno de los elementos de más difícil comprensión, sobre todo en el rango intermedio. Si se pronostican lluvias aisladas, quiere decir que sólo lloverá en la menor parte del territorio, hasta 39 % del área, y el término resulta más comprensible. Asimismo, si se pronostican numerosas lluvias, quiere decir que lloverá en la mayor parte del territorio, de 70 al 100 % del área. Menos claro resulta a la población el concepto de algunas lluvias, pues es el término medio, de 40 al 69 % del área, dicho de otra manera, la probabilidad de que llueva es casi igual a la de que no llueva, de ahí su ambigüedad.

Tabla 7. Terminología empleada en los pronósticos del estado del mar.

Estado del mar	Altura de las olas (m)	Medidas de precaución (*)
Mar tranquila	0.1 - 0.5	
Poco oleaje	0.6 - 1.0	
Oleaje	1.1 - 1.5	Precauciones embarcaciones menores
Marejadas	1.6 - 2.0	Peligro para embarcaciones menores
	2.1 - 3.5	Peligro para embarcaciones menores
Fuertes Marejadas	3.6 - 4.5	Peligro para la navegación

(*) Se refiere a botes de pesca deportivas o turismo que navegan próximo al litoral. Para otro tipo de embarcación, la información especializada la dará el Departamento de Meteorología Marina.

Los términos utilizados son:

- **TEMPERATURA DEL AIRE:** Los pronósticos de esta variable abarcan un rango de tres grados Celsius para un territorio, pero en los pronósticos para localidades específicas se expresan con un sólo valor.
- **VIENTO:** La dirección del viento se pronostica de acuerdo a los puntos cardinales de donde sopla el viento (a ocho rumbos de la rosa náutica) y puede estar entre dos rumbos que no sobrepasen los 45°. Ejemplo: del NE al E.

La velocidad del viento se expresa en km/h y en la forma siguiente:

- a) Los vientos **VARIABLES DÉBILES** no serán superiores a los 15 km/h.
- b) **LAS BRISAS** se pronosticarán cuando existen condiciones de viento débiles y no serán superiores a 20 kms / h.
- c) El viento se considera fuerte, cuando el máximo sostenido es superior a 50 km/h.
- **ESTADO DEL MAR:** En los pronósticos del estado del mar se usará la terminología que aparece en la tabla 7.

Clasificación de los pronósticos del tiempo. Pronósticos especializados

Los pronósticos del tiempo se clasifican en cualitativos y cuantitativos. Los cuantitativos son aquellos que pueden ser valorados de forma natural numéricamente, el resto podrá ser catalogados como cualitativos. Un ejemplo de pronóstico cuantitativo es el de la temperatura y de pronóstico cualitativo, la nubosidad, también se clasifican por el área que cubren en su predicción; estos pueden ser: puntuales, regionales y hemisféricos, así como: general o especializado, de acuerdo al contenido de su predicción, entre los pronósticos generales, están aquellos que en su contenido contemplan las variables fundamentales del estado del tiempo, como son: nubosidad, precipitaciones, temperaturas extremas y viento, y como especializado: los pronósticos para la navegación marítima, aérea, y para diferentes usuarios.

Evaluación objetiva de los pronósticos del tiempo. Efectividad de los pronósticos del tiempo en Cuba y en el ámbito internacional

Se denomina evaluación de los pronósticos del tiempo al grado de correspondencia de estos con las condiciones reales de la atmósfera, se puede determinar por las técnicas estadísticas, por ejemplo el método de correlación entre los pronósticos y los valores reales de un elemento meteorológico. Además se establecen métodos para su evaluación, que permiten valorar cada uno de los pronósticos por separados y después obtener los valores medios para conocer su efectividad. Se debe señalar que en la mayoría de los métodos de pronósticos sinópticos, en alguna medida está presente la subjetividad, por lo que el éxito de los mismos no solo depende de la efectividad metódica empleada y el nivel teórico de preparación que ostenta el meteorólogo, si no que el éxito de su trabajo, también va a depender del conocimiento de las condiciones físico geográfico y climáticas de la región para la cual se realizaran los pronósticos.

Es importante señalar que los métodos de pronósticos deben ser evaluados con material real (muestra independiente) para determinar no solamente su efectividad, sino establecer las limitaciones en su aplicación, como son: estación del año en la que se puede aplicar, en que localidad es mejor su comportamiento y los datos iniciales entre otras características.

La evaluación de los métodos y los pronósticos es de gran utilidad para los servicios meteorológicos, no solo para superar los errores y elevar la habilidad del pronosticador, si no también es de gran valor, además para determinar la efectividad de ellos, así como la valoración económica y social de los pronósticos del tiempo.

En Cuba se evalúa la calidad del pronóstico del tiempo desde 1981. Al principio esa evaluación se hacía mediante métodos manuales, pero con la introducción de las computadoras se automatizó. En la actualidad se cuenta con un moderno sistema de evaluación totalmente automatizado y en el cual no interviene la mano del Hombre.

El sistema funciona mediante la entrada del pronóstico realizado y la entrada de los datos medidos realmente por las 67 estaciones meteorológicas cada tres horas.