



CONTROL
DRON

CURSO DE PILOTO DE DRONES. METEOROLOGÍA



Nuestro planeta está constituido por tres partes fundamentales: una parte sólida llamada litósfera, (continentes, islas, etc), una parte líquida llamada hidrósfera (lagos, mares océanos, etc), y una capa gaseosa llamada atmósfera. Estas capas se relacionan entre sí, produciendo en todo momento modificaciones profundas en sus características.

La ciencia que estudia estas características, las propiedades y los movimientos de las tres capas fundamentales de la Tierra, se llama Geofísica. Así que en ese sentido, la meteorología es una rama de la geofísica que tiene por objetivo el estudio detallado de la envoltura gaseosa de la Tierra y sus fenómenos.

Es muy importante distinguir entre las condiciones actuales y su evolución llamado tiempo atmosférico, y las condiciones medias durante un largo período que se conoce como clima del lugar o región.

Por lo tanto, a corto plazo hablamos de tiempo atmosférico, y a largo plazo hablamos de clima.

En este sentido, la meteorología es una ciencia auxiliar de la climatología, ya que los datos atmosféricos obtenidos en múltiples estaciones meteorológicas durante largo tiempo se usan para definir el clima, predecir el tiempo, comprender la interacción de la atmósfera con otros subsistemas, etc.



El conocimiento de las variaciones meteorológicas y el impacto de las mismas sobre el clima, ha sido siempre de suma importancia para el desarrollo de la agricultura, la navegación, las operaciones militares y la vida en general.

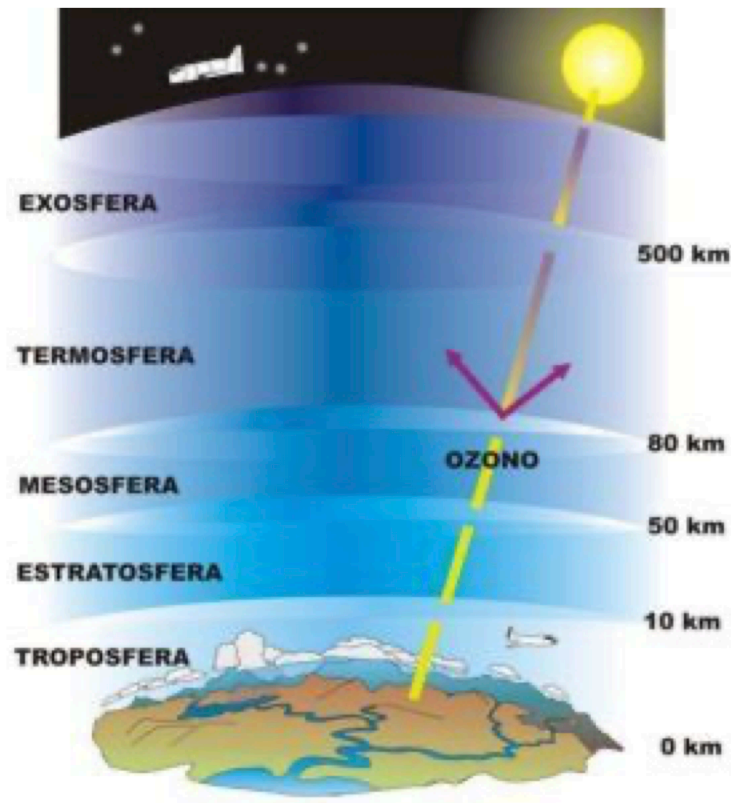
Hoy en día es muy sencillo obtener información meteorológica, ya sea desde una computadora, o un simple teléfono celular. Esto nos permite estar al día con el estado del tiempo (tiempo atmosférico), y saber de antemano las condiciones climáticas que ocurrirán en determinado punto, para, entre otras cosas, poder planificar determinado vuelo en condiciones seguras.

Para esto es muy importante tener en cuenta la humedad, la presión, la temperatura, los vientos, la visibilidad, la actividad solar, los frentes, las tormentas y el engelamiento.

Todos estos factores, inciden profundamente en el vuelo, y es muy importante conocerlos, entenderlos y poder planificar un vuelo seguro en función de toda esta información.



CAPAS DE LA ATMÓSFERA



La atmósfera está subdividida verticalmente en diferentes capas, y en cada una de ellas la temperatura es diferente a medida que se asciende.

TROPOSFERA

Se extiende desde la superficie hasta una altura de 8 km en los polos y 18 km en el Ecuador. La temperatura disminuye con la altura hasta los -56.5°C .

ESTRATOSFERA

Comienza en el límite superior de la Troposfera y se extiende hasta una altura de 50 km. Aquí se encuentra la mayor concentración de ozono.



MESOSFERA

Se encuentra entre los 50 km de altura de límite superior de la estratosfera hasta los 85 km. La temperatura es inferior hasta los aproximadamente -90°C .

TERMOSFERA

Se extiende desde los 80 km aproximadamente y alcanza los 500 km de altura. En esta capa la atmósfera se encuentra ionizada, lo que permite la reflexión de las ondas de radio.

EXOSFERA

Su límite inferior comienza aproximadamente a los 500 km de altura. El límite superior es la transición entre la atmósfera terrestre y el espacio exterior, aproximadamente a 10.000 km de altura.

LA HUMEDAD

La humedad o aire húmedo, está definido como la mezcla de aire seco con vapor de agua, y su porcentaje puede variar entre 0.2 y 2.7% dependiendo de la temperatura.

Es el mayor gas de efecto invernadero, es el responsable de transporte energético dentro de la atmósfera y es el principal causante de nubes, precipitaciones, nieblas, engelamiento, etc, por eso es muy importante para la aviación.

Las fuentes de humedad son las masas de agua de la tierra, en mayor grado los océanos y en menor grado los ríos, lagos, etc. Para medir el factor de la proporción de agua en la atmósfera, tenemos la humedad absoluta (H_a), la humedad relativa (H_r) y el punto de rocío (T_d).



La humedad absoluta o densidad de vapor, se define como la cantidad de gramos de agua contenidos en el volumen de aire (g/m³).

La humedad relativa, es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y la cantidad que contendría si estuviera completamente saturado, así que, cuanto más se aproxima al 100% más húmedo está. Normalmente la humedad relativa aumenta cuando manteniendo la temperatura constante aumenta la cantidad de vapor de agua en el aire, también suele aumentar al disminuir la temperatura.

El punto de rocío es la temperatura a la cual el aire se satura de vapor de agua y esta se condensa. Si esta temperatura está por encima del punto de congelación, se formará rocío pero si está por debajo se formará escarcha. Hay dos maneras de alcanzar el punto de rocío y que una determinada masa de aire comience a condensar, y es enfriando el volumen de aire o añadiendo vapor de agua.

¿CÓMO AFECTA LA HUMEDAD DE LA DENSIDAD DEL AIRE?

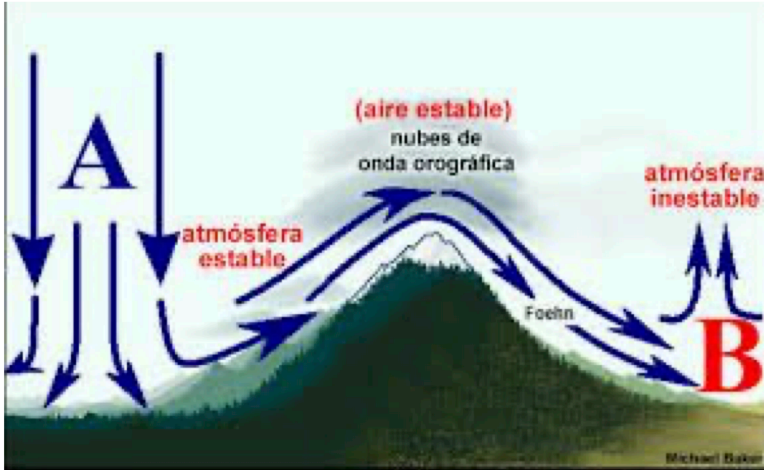
La densidad del aire húmedo, es menor que la densidad del aire seco en las mismas condiciones de temperatura y presión.

Hay que tomar en cuenta, que la variación de la humedad relativa durante el día, se debe a que al aumentar la temperatura la humedad relativa disminuye porque la máxima cantidad de vapor que el aire puede contener aumenta con la temperatura.

Usualmente, luego de las 15 hs, la temperatura comienza a disminuir, y la cantidad de calor que el aire puede contener también, por lo tanto la humedad relativa aumenta. Es así que si la humedad relativa es menor a 100% el aire se considera seco.



PRESIÓN Y VIENTO



La presión y el viento son dos conceptos que están estrechamente relacionados, ya que la presión es el principal causante del origen del viento.

PRESIÓN ATMOSFÉRICA

La presión atmosférica se define como la fuerza ejercida por el peso de la atmósfera por unidad de superficie. La presión se ve afectada por tres factores principalmente: altura, temperatura y humedad. A medida que ascendemos, la presión atmosférica ira disminuyendo de tal forma que también será determinante para el vuelo de los drones.

Las unidades de medida de la presión atmosférica de uso aeronáutico son las siguientes:

1. Milibares (mb).
2. Hectopascales (hPa).
3. Pulgadas de mercurio.



Y sus equivalencias son:

1. 1mb = 0,02953 pulgadas de mercurio.
2. 1mb = 1 hPA.
3. 1013,25 hPA = 29,92 pulgadas de mercurio.

Las isobaras son líneas que unen puntos de igual presión atmosférica. Se representan en mapas meteorológicos dibujadas a intervalos de 2 o 4 mb.

Mediante el trazado de las líneas de isobaras, podremos obtener la información sobre el tiempo que acontece en un determinado lugar.

LA TEMPERATURA

Por definición, la temperatura es la medida de la energía cinética media de las moléculas.

El choque entre átomos produce energía calorífica y dependiendo de la velocidad obtendremos más o menos choques, y por lo tanto más o menos temperatura.

Existen tres escalas usadas hoy en día para medir la temperatura, ellos son los grados Celsius, grados Fahrenheit y grados Kelvin.

Grados Celsius (oC)

Define el 0o como el punto de congelación del agua y los 100o como el punto de ebullición, entre estas dos marcas se divide la medida entre 100 partes iguales y por debajo del 0o se emplean medidas negativas, es la forma de medida empleada en la aeronáutica.



Anders Celsius definió su escala en 1742, y hoy el grado Celsius (o centígrado), pertenece al Sistema Internacional de Unidades, con carácter de unidad accesoria.

Grados Fahrenheit (oF)

Define los 32o como el punto de congelación del agua y los 212o como el punto de ebullición.

Fue propuesto en 1724 por Daniel Gabriel Fahrenheit, y en algunos países aún se emplea esta unidad de medida, por ejemplo EEUU.

Grados Kelvin (oK)

El grado Kelvin, es la unidad de temperatura creada por William Thomson (Lord Kelvin), en el año 1848 sobre la base del grado Celsius, estableciendo el punto cero en el cero absoluto ($-273,15^{\circ}\text{C}$) y conservando la misma dimensión que el Celsius.

Su importancia radica en el 0 de la escala, ya que la temperatura de 0oK es denominada 'cero absoluto' y corresponde al punto en el que las moléculas y átomos de un sistema tienen la mínima energía térmica posible. Ningún sistema macroscópico puede tener una temperatura inferior.

A la temperatura medida en Kelvin se le llama "temperatura absoluta", y es la escala de temperaturas que se usa en ciencia, especialmente en trabajos de física o química, es por esto que muchas cosas se miden en oK, como la temperatura de los colores de la luz, etc.

CONVENCIÓN



La variación de temperatura, proviene del calentamiento desigual de la superficie de la tierra por parte del sol.

Un cambio en la temperatura del aire, causa un cambio en la densidad del mismo, ya que el aire más caliente se expande al ser menos denso que el aire frío.

Es así que el aire más frío (con mayor densidad), se mueve hacia el suelo, y el aire más caliente se eleva hacia arriba hasta que finalmente se enfría y desciende, mientras que el aire más frío por debajo se calienta y se eleva.

Esto se llama convección y es el principal sistema de calentamiento de la atmósfera.

Los cambios en la densidad del aire, afectan el rendimiento de las aeronaves.

Sin cambiar la fuerza de empuje, la disminución de la densidad del aire dará lugar a un menor número de moléculas, esto disminuirá la fuerza de sustentación porque hay menos moléculas para generar elevación. Un cambio en la temperatura, del aire, también puede crear vientos locales, los cuales si no se tienen en cuenta desviarán la aeronave fuera de su curso.

PROCESOS ADIABÁTICOS Y NO ADIABÁTICOS

Adiabático es el proceso sin intercambio de calor entre un sistema y su entorno.

Por lo tanto, cuando una columna de aire cambia su temperatura exclusivamente por variaciones de presión, estaremos hablando de un proceso adiabático.

Si tenemos una masa de aire a una determinada temperatura y altitud y la masa de aire baja, la presión aumenta y se va



comprimiendo de forma adiabática (o sea sin ceder ni absorber calor de su entorno), su temperatura aumentará.

Por lo tanto, si la misma masa de aire sube, la presión irá disminuyendo, la masa de aire se expansionará adiabáticamente y su temperatura disminuye.

Un ejemplo de esto es cuando una parcela de aire se expande debido a que la presión externa disminuye, las moléculas emplean parte de su energía interna en el proceso de expansión, la parcela de aire se enfría porque la energía interna de las moléculas es proporcional a la temperatura de la parcela.

Este fenómeno (enfriamiento por expansión adiabática), está presente en el proceso de la mayoría de las formaciones nubosas, y se encuentra ligado al ascenso del aire por medio de una o varias de las siguientes vías:

Libre convección, debido al calentamiento de la superficie por el sol.

Convección forzada, debido a la influencia de la orografía del terreno (ascendencia orográfica).

Aire forzado a ascender en la proximidad de frentes cálidos o fríos, producido por el movimiento horizontal de una masa de aire frío que fuerza a una de aire más cálido a ascender.

Convergencia de una masa de aire hacia un área de baja presión, que fuerza el aire a ascender para mantener el equilibrio entre masas. Es decir, cuando horizontalmente, en una zona entra más aire del que sale, como ocurre con la convergencia del viento a nivel del terreno hacia el centro de una baja presión, el exceso de aire es obligado a ascender.



Podemos decir que el movimiento de una parcela de aire puede ser estable cuando la misma tiende a volver a su nivel inicial, inestable cuando continúa subiendo o neutro cuando se mantiene al mismo nivel.

INVERSIÓN TÉRMICA

Como antes hemos citado, la temperatura en la troposfera suele disminuir proporcionalmente a medida que ascendemos, pero con cierta frecuencia, en determinados lugares, la temperatura aumenta por capas y no proporcionalmente.

Esto se llama inversión de temperatura (o inversión térmica), y es un fenómeno natural que se puede presentar en cualquier día del año y a cualquier hora del día.

TIPOS DE INVERSIÓN TÉRMICA

1. DE SUPERFICIE O RADIACIÓN.
2. DE ALTURA O SUBSIDENCIA.
3. POR ADVECCIÓN.
4. FENÓMENOS FRONTALES.

Inversión térmica de superficie

Se produce muy cerca de la superficie, y corresponde a situaciones meteorológicas de cielo despejado y viento suave, con fuerte pérdida nocturna de calor.



El aire en contacto con la superficie terrestre, está más frío que el aire de las capas superiores, por lo tanto es más denso, pesa más y dificulta los movimientos verticales entre estratos.

Esto favorece la formación de nieblas, heladas moderadas a fuertes en invierno y a la acumulación de aire contaminado (smog) en las grandes ciudades.

Inversión térmica de altura

Se debe al descenso de grandes masas de aire frío, provocado por sistemas de altas presiones.

Cuando se forman entre los 600 y los 1500 mts de altura, se producen situaciones de altas presiones por el descenso de aire, el cual se irá comprimiendo y secando desde arriba hacia abajo, impidiendo de forma más duradera los movimientos verticales de aire.

Inversión térmica por advección

La advección es el transporte horizontal de aire frío en superficie, y es más común en superficies líquidas. También se le denomina advección al transporte de aire caliente, pero en altura.

Inversión térmica por fenómenos frontales

Es el choque de dos (o más), masas de aire con diferente temperatura.

EFFECTOS DE LA INVERSIÓN TÉRMICA

Los movimientos de aire verticales son frenados, lo cual también es indicio de estabilidad atmosférica de la capa de aire, y suele causar concentraciones de contaminantes como el smog.



Cizalladura del aire, la cual genera posible turbulencia por el desacople de dos capas de aire con diferente densidad.

También se llama cizalladura del viento, al efecto que se genera cuando dos vientos que se mueven en direcciones contrarias se rozan o se encuentran, esto genera pequeños remolinos y torbellinos de masas de aire que se mueven en varias direcciones, causando turbulencia.

Para la aeronáutica, es muy importante la cizalladura, ya que algunas pueden ser predecibles y otras pueden ocurrir inesperadamente, y son especialmente peligrosas cuando estas ocurren cerca del suelo.

Muchos aeropuertos están equipados con alarmas de cizalladura del viento, que advierten a los controladores y pilotos de la potencial existencia de cizalladura en los corredores de despegue y aterrizaje de la pista.

EL VIENTO

El viento se origina por las diferencias de presiones que tienden a equilibrarse, de las altas a las bajas presiones. Estas diferencias se producen por el desigual calentamiento de la superficie, cuando el aire se calienta asciende y para ocupar ese vacío el aire circundante se mueve hacia la zona donde se ha producido la depresión.

El viento es el vector resultante de tres componentes, la longitudinal, lateral y vertical, considerando que es una fuerza que se mueve en un espacio en tres dimensiones.

En el ámbito aeronáutico, la información del viento suele expresarse en grados para definir la dirección desde la que sopla el viento, y en nudos (millas náuticas por hora) para indicar la



intensidad de ese viento. En la operación de aeronaves pilotadas por control remoto, se utiliza también el sistema métrico internacional (km/h).

Cuando la intensidad del viento no es constante y sopla con distintas intensidades en cortos períodos de tiempo, el viento se define como cacheado. Es un factor importante en la operación del aparato ya que si no se toman las medidas adecuadas, por ejemplo en un aterrizaje incrementando la velocidad en la aproximación, la racha de viento podría desestabilizar la trayectoria de aterrizaje, perdiendo el control del dron.

La velocidad del viento, habitualmente se mide en metros por segundo (m/s), kilómetros por hora (km/h) y/o nudos (kt).

El nudo es la medida anglosajona que representa las millas marinas por hora, y su equivalencia es $1 \text{ nudo} = 1,852 \text{ km/h} = 0,515 \text{ m/s}$.

La dirección del viento, que es desde donde procede el mismo, se expresa en grados (º), contados en el sentido de las agujas del reloj a partir del Norte geográfico. A ese punto se le asigna el valor de 0º (o 360º), por lo tanto el Este estaría a 90º, el Sur a 180º y el Oeste a 270º.

Las fuerzas que afectan a los movimientos de aire en la atmósfera, tanto vertical como horizontalmente son: Gradiente de presión, efecto Coriolis, fuerza centrípeta/centrífuga, fricción y gravedad.

Fuerza de gradiente de presión

Es la fuerza originada por las variaciones de presión, estas diferencias crean una fuerza que dirige el viento y se desarrollan tanto vertical como horizontalmente.



Un gradiente vertical es una característica permanente de la atmósfera, y va disminuyendo con la altura. Un gradiente horizontal hace referencia a cambios de presión a lo largo de una superficie de altitud constante.

Efecto Coriolis

Es una pseudo fuerza causada por la rotación de la tierra, es perpendicular a la velocidad de la partícula y provoca una desviación lateral hacia la derecha en el hemisferio Norte y hacia la izquierda en el hemisferio Sur, respecto al sentido del movimiento del aire.

Esta fuerza no existe en la realidad y depende del sistema de referencia giratorio de la tierra.

Fricción o viscosidad

La fricción es la resistencia que hace un objeto sólido al moverse en contacto con otros objetos sólidos. En la mecánica de fluidos se llama viscosidad, y es la resistencia hecha por la capa de un fluido por la superficie donde se mueve y al revés. Hay dos tipos, turbulenta y lineal.

La viscosidad turbulenta es la fricción que viene causada por movimientos mayores y más irregulares, llamados remolinos. La viscosidad lineal es el movimiento al azar de las moléculas de aire que forman un gas o un líquido.

En el caso del viento, los obstáculos de la superficie terrestre (árboles, casas, edificios, montañas, etc), interceptan el movimiento lineal del fluido y como consecuencia se forman remolinos en el lado protegido del viento.



El movimiento irregular del fluido que se origina de esta forma, se conoce como turbulencia mecánica. Cuanto más rugosa es una superficie, mayor es la viscosidad, esto produce un mayor freno al viento.

La fricción turbulenta disminuye rápidamente con la altura, por lo tanto, la velocidad del viento aumenta con la altura, y por encima de 1 KM no tiene prácticamente efecto.

Los remolinos también se pueden generar en el aire por calentamiento solar del suelo, estos remolinos se llaman turbulencia térmica.

Vientos de superficie

Es el viento que se desarrolla dentro de la capa de fricción, la cual normalmente está situada hasta a 1 km de altura, pero también depende de la estabilidad de la atmósfera, la velocidad del viento y la rugosidad de la superficie.

El viento de superficie puede presentarse encima de la tierra o encima del mar, y reduce su velocidad un 50% y un 30 % respectivamente.

Tiene variación diurna debido al calentamiento desigual de la superficie, genera convección, y mezcla de aire.

Vientos locales

Se denomina viento local al que circula por determinadas irregularidades del terreno, el cual hace que el viento no siga las reglas generales, al igual que en casos de calentamiento



diferenciales por radiación. Pueden ser brisas de mar y de tierra, brisas de valle o montaña y viento Foehn.

La brisa de mar normalmente se da por el hecho de que el sol a calentado la tierra y el aire asciende y se dilata, al moverse hacia el mar por diferencia de presiones desciende y se enfría y nuevamente vuelve hacia tierra, penetrando hasta los 40 kms a una altura máxima de 300 mts y con una velocidad inferior a los 14 nudos.

La brisa de tierra es un proceso análogo pero inverso, se da por la noche y en este caso el mar está más cálido que la tierra.

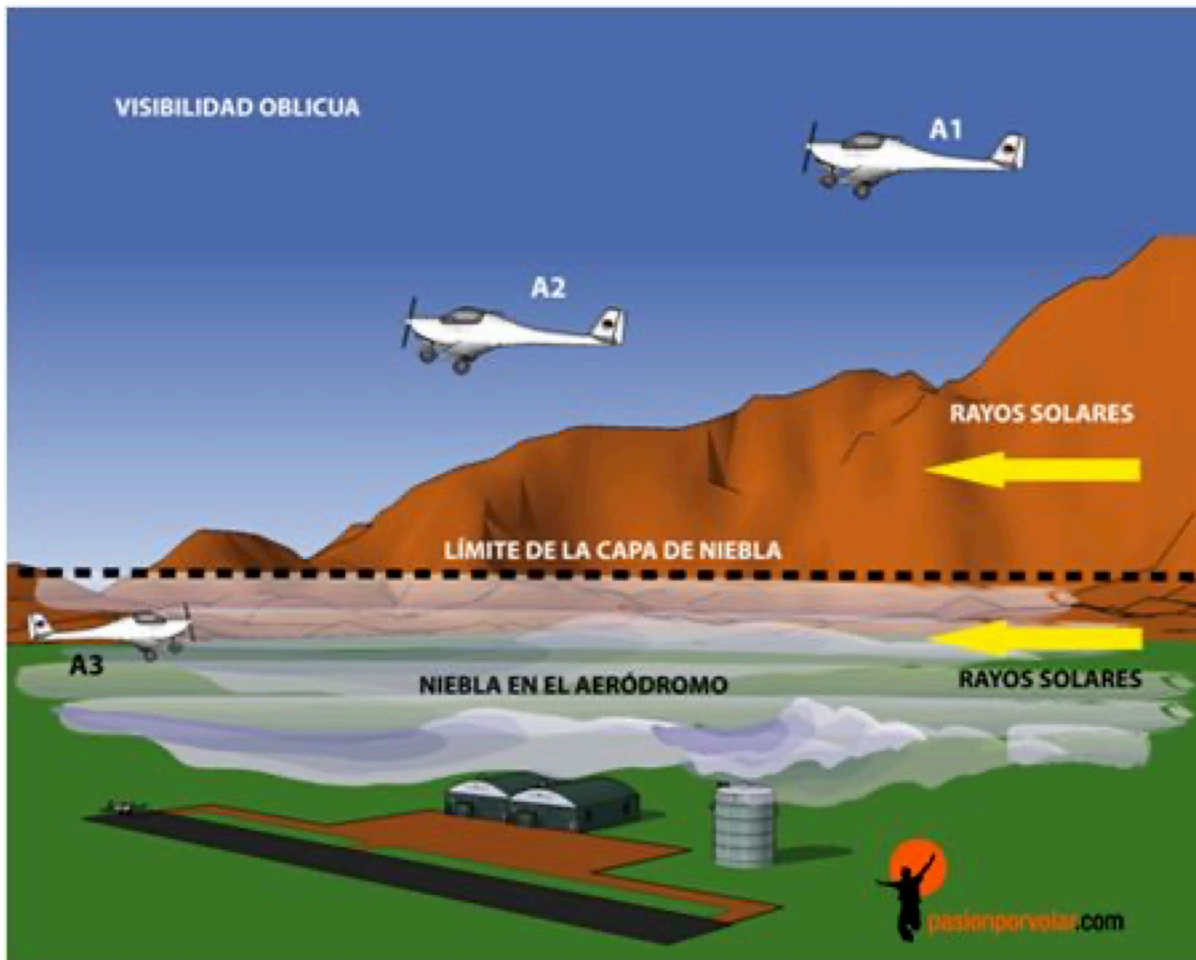
La presencia de brisas de mar y de tierra, es signo de buen tiempo.

El viento orográfico (o de valle o montaña), se debe a que el viento cruza un valle o montaña y es desviado según la forma del obstáculo.

En dos paredes laterales el viento fluye a lo largo del valle, y en dos montañas muy juntas, el viento pasa por un paso estrecho aumentando su velocidad.

El viento Foehn, se da cuando una masa de aire húmedo llega a una montaña y asciende hasta la cima, allí se condensa y llueve, liberando parte de su humedad, al descender es un aire más seco y cálido.

VISIBILIDAD



Es la distancia horizontal máxima, a la que un observador puede distinguir claramente algunos objetos de referencia en el horizonte. Por lo tanto, la visibilidad meteorológica, es una medida de transparencia atmosférica en una dirección horizontal sobre la superficie terrestre relativa a la visión humana.

En el caso de las aeronaves también se habla de visibilidad vertical y oblicua.

Esta última es la distancia medida desde el avión hasta el punto M que es el objeto visible más lejano que puede verse desde el avión.

Visibilidad aire-tierra.



Capa de niebla alta o niebla, cuyo espesor disminuye de arriba abajo.

La visibilidad se ve reducida por la suspensión de partículas en el aire, y si además estas partículas capturan con facilidad moléculas de vapor de agua forman pequeñísimas gotículas y la visibilidad disminuirá notablemente. Si llega a ser inferior a un kilómetro es lo que en Meteorología se llama niebla.

Este meteoro provoca sensación de frío, es pegajosa y húmeda, tiene un color blanquecino o gris y cuando tiene poco espesor vertical, será más o menos visible el cielo sobre el observador.

Al reducir considerablemente la visibilidad, este fenómeno puede afectar seriamente el desarrollo de la vida cotidiana y producir situaciones de alto riesgo para la aeronáutica.

La niebla tiene una constitución idéntica a las nubes acuosas, de las cuales se diferencia en su formación, mientras estas últimas lo hacen por elevación y enfriamiento del aire hasta alcanzar el nivel de condensación, la niebla se forma por aumento del vapor de agua o por su enfriamiento hasta llegar a la saturación, y en el lugar de su creación, están, más o menos, en contacto con el suelo.

Por ejemplo, un observador situado en el llano puede indicar la presencia de nubes bajas en las cercanías de una montaña, mientras que otro situado en ella puede estar inmerso en una niebla más o menos densa.

Para que se produzca este meteoro, es imprescindible la existencia de tres factores: una inversión de temperatura (aumento del valor térmico con la altura) que dificulte los movimientos verticales del aire, poco viento y una humedad relativa próxima al 100%.



También hay otros factores de reducción de la visibilidad, como los son el humo, el polvo, la arena y las precipitaciones.

ACTIVIDAD SOLAR

La actividad solar (o clima espacial), se puede definir como los sucesos que se llevan a cabo en la superficie del sol, y que afectan en mayor o menor medida a la tierra y el sistema solar.

Dentro de estos sucesos se cuentan las manchas solares, eyecciones de masa coronal, viento solar, etc.

Nosotros nos concentraremos en el viento solar y en las eyecciones de masa coronal, ya que son estos fenómenos los que afectan muchísimo las comunicaciones y por ende el vuelo de equipos como los drones.

VIENTO SOLAR

Se trata de un flujo continuo de partículas cargadas, que escapan de la atmósfera externa del sol a altas velocidades y penetran en el Sistema Solar.

Está compuesto principalmente de electrones y protones, pero tiene también trazas de núcleos de helio y otros elementos. El viento solar puede considerarse como la parte más exterior de la corona, que es expulsada violentamente hacia el espacio interplanetario por los procesos energéticos en actividad en las regiones subyacentes del Sol.

Estas partículas cargadas, alcanzan velocidades comprendidas entre los 350 y los 800 km por segundo en la proximidad de la órbita terrestre, tiene una densidad de 5 unidades por centímetro cúbico.



Los efectos del viento solar sobre el ambiente que rodea a la Tierra son notables. Entrando en contacto con el campo magnético terrestre, las partículas permanecen interpoladas en las líneas del propio campo y dan lugar a los cinturones de Van Allen.

Por otra parte, chocando con los estratos más exteriores de la atmósfera, generan fenómenos como las Auroras boreales y las tempestades magnéticas, que tanto influyen en las comunicaciones de radio.

TORMENTA GEOMAGNÉTICA

Una tormenta geomagnética es una perturbación temporal de la magnetosfera terrestre. Asociada a una eyección de masa coronal (CME), un agujero en la corona o una llamarada solar, es una onda de choque de viento solar que llega 52 horas después del suceso. Esto solamente ocurre si la onda de choque viaja hacia la Tierra. La presión del viento solar sobre la magnetosfera aumentará o disminuirá en función de la actividad solar.

La presión del viento solar modifica las corrientes eléctricas en la ionosfera. Las tormentas magnéticas duran de 24 a 48 horas, aunque pueden prolongarse varios días.

De estas definiciones, se desprende que durante una tormenta solar el sol emite masivas cantidades de plasma y partículas cargadas, junto con una gran cantidad de rayos X y rayos gamma (la radiación más potente y nociva que existe).

Esta radiación alcanza la tierra en unos 8 minutos (ya que viaja a la velocidad de la luz), pero nuestra atmósfera nos protege casi en su totalidad.

Las millones de toneladas de partículas cargadas en cambio, demoran entre unas pocas horas a tres días en alcanzarnos, estas



chocan con el campo magnético de la tierra, lo comprimen y pasan a las capas altas de la atmósfera, cargando la misma con millones de watts, generando sobrecarga en las redes eléctricas, apagones, averías en satélites y equipos de telecomunicaciones, perturbaciones en el tráfico aéreo, etc. Entre los principales efectos y consecuencias que pueden causar estos fenómenos solares se encuentran:

Alteración de la órbita de satélites

Las capas superiores de la atmósfera se expanden como consecuencia de la ionización, lo cual puede interferir con la órbita de satélites de baja altura.

Comportamiento errático del equipo electrónico a bordo de satélites, ya que las cargas eléctricas pueden acumularse en la superficie de los mismos provocando falsas señales, errores e iniciando procedimientos correctivos innecesarios, sacando de curso los satélites.

Mala comunicación con satélites

Aún en el caso de satélites militares y otros equipos más modernos (los cuales fueron diseñados para resistir grandes cantidades de radiación y fenómenos de este tipo), la transmisión y recepción de información desde y hacia la tierra, puede verse afectada o incluso interrumpida, en momentos en que una llamarada o tormenta solar afecte a la tierra.

El uso componentes más diminutos y la modernización de los equipos, los hace más susceptibles a estos efectos.

Problemas en radares



Los radares tanto de tierra, mar o aire, pueden ver afectado su rendimiento debido al ruido provocado por una tormenta solar, dejando sus sistemas totalmente carentes de funcionamiento o incluso generar datos e información errónea.

Interrupción del servicio de posicionamiento satelital

Con la creciente proliferación de equipos que emplean sistemas de navegación y posicionamiento por satélite (tanto a nivel civil como militar), nos hacemos más dependientes de esta tecnología, la cual puede ser severamente afectada o incluso interrumpida por estos fenómenos solares.

Ya sea el sistema GPS, Glonass, Galileo o Beidou, estos se basan en una constelación de satélites que giran en torno a la tierra a un ritmo constante, cuyas señales se combinan para calcular y determinar un punto preciso en un determinado momento, rumbos, cálculo de distancias y períodos de travesía.

Si estos sistemas fallaran, o dejaran de funcionar, veríamos nuestros equipos electrónicos de uso común, volverse totalmente inservibles, lo cual afectaría todo tipo de actividad.

Interrupción de señales de radio y equipos móviles

Las señales de radio de larga y mediana distancia pueden verse interrumpidas o afectadas como consecuencia de cambios en la ionosfera, también se verían afectados los teléfonos móviles, las transmisiones televisivas, la radio, y demás equipos de radiocomunicaciones.

Interrupciones eléctricas en redes



Los pulsos electromagnéticos, pueden sobrecargar los tendidos de energía y suministro eléctrico de todo el planeta.

Así fue el caso de la tormenta solar que afectó a Canadá en 1989, la que dejó sin energía eléctrica a más de 7 millones de personas en Quebec y registró las mayores pérdidas económicas de la historia.

También fue el caso de la mayor tormenta solar registrada hasta ahora, la cual afectó a la tierra en el año 1859 y se conoce como el efecto Carrington.

Esta tormenta, destrozó las líneas de telégrafo de la época, produjo auroras boreales en lugares tan alejados de los polos como Cuba y España, y marcó un antes y un después en el estudio de este tipo de fenómenos solares.

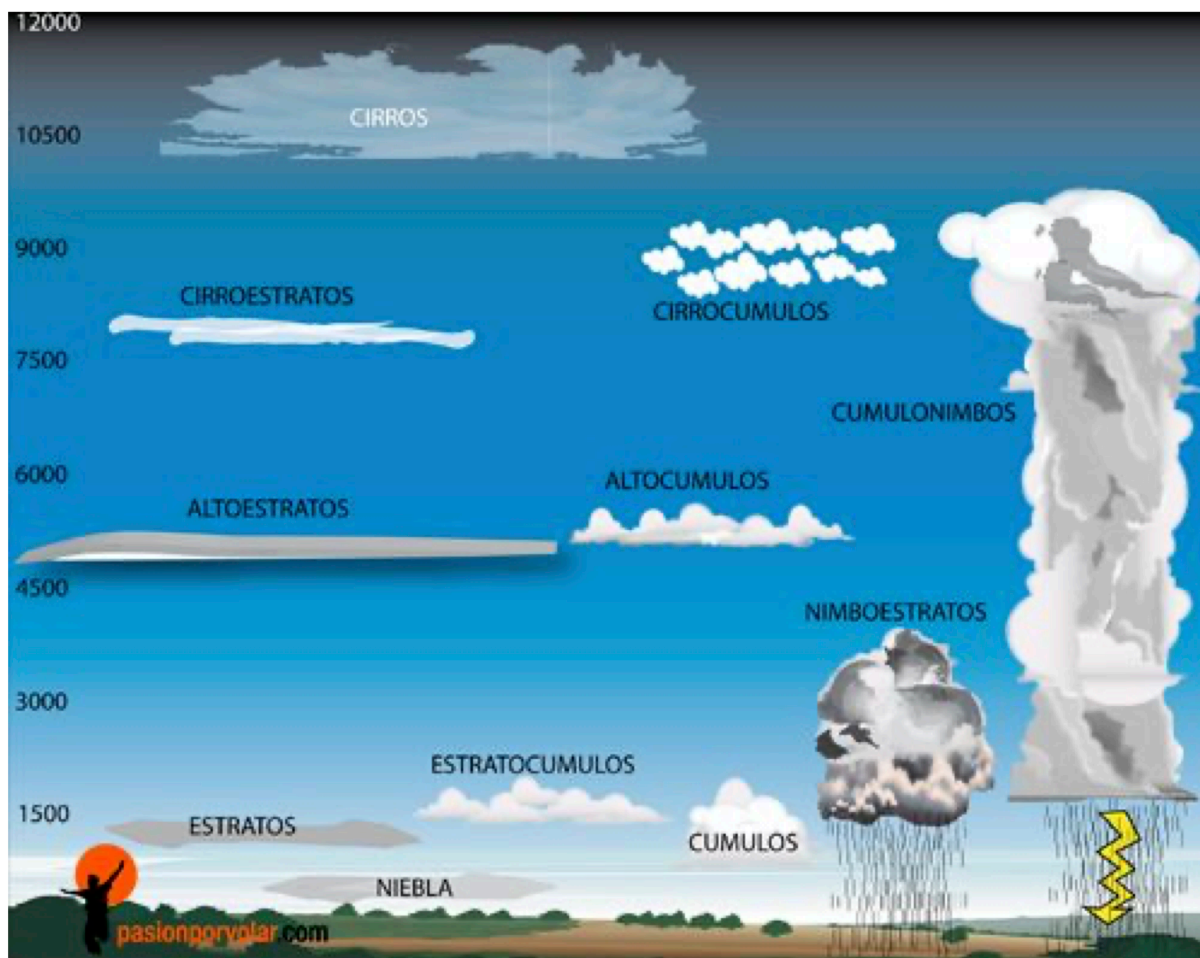
Prevención y análisis

Hoy en día disponemos de varios elementos y tecnologías para advertir con determinada antelación estos fenómenos, y es muy importante conocerlos y saber usarlos.

Diversos satélites captan estas perturbaciones solares y pueden incluso medirlas, facilitándonos información para evitar problemas.

Es así que existen diversas aplicaciones que nos informan de la actividad solar, el índice KP, predicciones de tormentas severas y demás datos.

NUBES



Una nube, es un fenómeno hidrometeoro consistente en partículas diminutas de agua líquida o hielo (o de ambas), suspendidas en la atmósfera y que en general no tocan el suelo.

Se clasifican en primer lugar por familias, y son las siguientes:

1. Nubes altas, entre 5 y 13 km de altura, comienzan con Cirr.
2. Nubes medias, entre 2 y 7 kms de altura y comienzan con Alto.
3. Nubes bajas, entre el suelo y los 2 kms de altura, no tienen prefijo.
4. Nubes interpuestas entre un nivel y otro, ocupan más de un nivel vertical y comienzan con Nimb.

En segundo lugar tenemos el género:

Stratus; Cumulos; Cirrus;



Nimbos

Cuando un estrato o un cúmulo da lugar a precipitaciones (ya sea lluvia, granizo o nieve), se combina el nombre básico de la nube con el término nimbus, (nube de lluvia o tempestad).

Nubes altas

Cirros

Se encuentran generalmente entre 6 y 10 kms de altura, están constituidas por cristales de hielo y éstos son transparentes. Están separadas en forma de filamentos blancos y delicados, o en forma de bancos o bandas estrechas blancas o casi blancas.

Cirro cúmulos

Normalmente son blancos, aunque a veces pueden ser grises. Se componen de cristales de hielo y se forman entre 5 y los 13 kms de altura. Parecen pequeñas bolas de algodón que normalmente se alinean en largas hileras. Cuando estas nubes cubren la mayoría del cielo, se suele llamar cielo escamado.

Cirro estratos

Son como un velo nuboso, transparente y blanquecino, están constituidas por cristales de hielo y pueden ser de aspecto fibroso o completamente liso, pueden cubrir total o parcialmente el cielo. Suelen aparecer a unos 8 kms de altura, no suelen ocultar el sol o la luna y a veces generan un efecto de halo alrededor de estos astros.

Altostratos



Lámina o capa de nubes gris o azulada, de aspecto estriado, fibroso o uniforme, que cubre parcial o enteramente el cielo. Tienen partes lo suficientemente delgadas como para distinguir vagamente el sol, no producen halos y son de espesor variable.

Altocúmulos

Con base a 3 kms de altura, constituidas por diminutas gotas de agua, aunque a muy bajas temperaturas también pueden formarse cristales de hielo. Pueden originar fenómenos ópticos como halos, columnas luminosas y parhelios. Son nubes blancas o grises, en forma de bancos, fibrosas y pueden estar unidas o no.

Estratos

Son nubes bajas de poco espesor, se presentan en forma de largas fajas horizontales color humo o gris. Son mantos uniformes, parecidos a la niebla y su altitud es siempre baja, estando entre el suelo y los 800 mts de altura. Es considerada nube de buen tiempo y está compuesta por gotitas de agua, ocasionalmente puede producir una fina llovizna. A veces tienen forma de jirones debajo de otras nubes, y se forman cuando las corrientes de aire verticales son muy suaves, lo que hace que este tipo de nube quede flotando sobre una capa de aire frío y cubierta por una capa de aire más caliente al producirse una inversión de temperatura.

Estratocúmulos

La base se encuentra a unos 1500 mts de altura, se presentan en capas o bancos de color gris o blanco, con límites bien definidos. Están constituidas por gotitas de agua y normalmente forman fajas paralelas de gran extensión.



Nimbostratos

Son mantos nubosos particulares de tiempos de lluvia, son de color gris y muy oscuro. Su espesor es el suficiente para ocultar el sol y su aspecto queda oculto por la caída de lluvia o nieve.

Nubes de desarrollo vertical

Cúmulos

Son nubes que generalmente tiene una base llana y horizontal, a una altitud de entre 800 y 1000 metros y se presentan como conglomerados sueltos que recuerdan a un bollo de algodón, de color blanco y brillante cuando son iluminados por el sol.

Usualmente este tipo de nubes son asociadas con inestabilidad atmosférica. Están compuestas por agua líquida o helada según la altura y no suelen acarrear precipitaciones a no ser que sean muy desarrollados.

Cumulonimbus

Son nubes bajas de gran desarrollo vertical, con base a escasa altitud (800 mts), y con alturas que llegan a los 10 kms. Su parte superior generalmente es aplanada y en forma de yunque, su aspecto amenazador y debido a que producen grandes tormentas de lluvia y granizo, acompañadas de rayos y truenos hace que se las llame comúnmente “nubes de tormenta”.

NIEBLA, CALIMA Y BRUMA



Las nieblas se pueden considerar como nubes a nivel de la superficie, ya que están compuestas por diminutas gotitas de agua o hielo que reducen considerablemente la visibilidad. Se considera niebla si la visibilidad horizontal es inferior a 1 km, y neblina si es de entre 1 y 2 km. Destacar que cuando el punto de rocío y la temperatura ambiente del aire están próximos entre sí o son iguales hay probabilidad alta de formación de nieblas.

La calima por el contrario está mayoritariamente compuesta por partículas microscópicas secas (polvo, sal, cenizas, productos de la combustión) que están suspendida en la atmósfera y cuyos niveles de humedad están por debajo del 70%. Permiten una visibilidad de al menos 2 km.

A diferencia de la calima, la bruma está compuesta por partículas diminutas de agua con núcleos higroscópicos (gotitas salinas procedentes de mares y océanos) que reducen la visibilidad normalmente en zonas próximas al mar.



TORMENTAS



Una tormenta, es un fenómeno meteorológico caracterizado por la coexistencia próxima de dos o más masas de aire de diferentes temperaturas. Este contraste asociado a los efectos físicos implicados desemboca en una inestabilidad caracterizada por lluvias, vientos, relámpagos, truenos, rayos y ocasionalmente granizo.

Las tormentas se crean cuando un centro de baja presión se desarrolla con un sistema de alta presión que lo rodea. Esta combinación de fuerzas opuestas puede crear vientos y resultar en la formación de nubes de tormenta, como el cumulonimbus. El contraste térmico y otras propiedades de las masas de aire húmedo, dan origen al desarrollo de fuertes movimientos ascendentes y descendentes (convección), produciendo una serie de efectos característicos como fuertes lluvias y vientos en la superficie e intensas descargas eléctricas. Esta actividad eléctrica se pone de manifiesto cuando se alcanza la tensión de ruptura del aire, momento en el que se genera el rayo que da origen a los



fenómenos característicos de relámpago y trueno. La aparición de relámpagos depende de factores tales como el grado de ionización atmosférico, además del tipo y la concentración de la precipitación.

TIPOS DE TORMENTAS

De convección

Es la más común, estadísticamente se dan más en verano, cuando el calentamiento de la superficie es mayor. Son más usuales durante el día y también pueden darse en primavera y otoño, por la mejor combinación de humedad y calentamiento.

De advección

Estas pueden ocurrir durante el día o la noche, en verano o en invierno. Son más comunes cuando una masa de aire frío y húmedo se mueve a través de un mar más cálido, usualmente en invierno, aunque en verano puede ser causada por el aire marítimo frío que se caliente desde la base.

De ascenso orográfico

El aire obligado a ascender, puede generar tormenta a barlovento, sobre todo cuando la masa de aire ascendente tiene mucha cantidad de vapor de agua y es muy inestable. Puede ocurrir en cualquier estación y a cualquier hora del día.

De convergencia

Son asociadas a bajas presiones o surcos no frontales. Pueden generar tormentas en línea.



CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UNA TORMENTA

La nube típica de tormenta es el cumulonimbus, en forma de yunque. Delante de la nube se pueden observar mammatus o depresiones continuas, se desarrollan hasta la tropopausa y el yunque está avanzado respecto a la base, indicando la dirección en la cual se mueve.

Ciclo de vida

Estado inicial

La combinación de diferentes células de entre 6 y 9 kms horizontales y su condensación, libera calor el cual refuerza las corrientes ascendentes de 5 a 10 m/s. Las gotas líquidas o nieve siguen las corrientes ascendentes aumentando su tamaño.

Madurez

Se da cuando comienza la precipitación, con corrientes descendentes de unos 12 m/s las cuales arrastran las gotas de agua o hielo. Se presentan micro ráfagas, que son corrientes descendentes muy fuertes que también se mueven hacia afuera de la nube al reaccionar con el suelo.

Se generan también macro ráfagas, que son similares pero afectan superficies mayores, de entre 5 y 9 kms. Se generan cambios bruscos en la intensidad y dirección del viento, con turbulencias y produciendo electricidad estática, la cual al desplazar las cargas positivas hacia arriba y las cargas negativas hacia abajo producen los relámpagos.

Disipación



Turbulencia extrema y fuerte precipitación, desaparecen las corrientes ascendentes y sólo predominan las corrientes descendentes, luego cesan las lluvias y la nube llega hasta la tropopausa donde es esparcida por el viento de altura.