

LA ATMOSFERA DE LA TIERRA



**SERVICIO
METEOROLOGICO
NACIONAL**

BOLETIN INFORMATIVO N° 23

LA ATMOSFERA DE LA TIERRA

INTRODUCCION

La atmósfera se halla firmemente atraída por la gravedad terrestre, cubriendo toda la superficie del planeta. Cerca de dicha superficie, el aire atmosférico contiene los elementos esenciales para la vida, como ser el oxígeno, nitrógeno y carbono. No solo esto, sino que con su movimiento, la atmósfera acarrea vapor de agua desde los mares a los continentes, el que, a través de las precipitaciones, se transforma en agua potable.

Debido a que el aire se calienta o se enfría, de distintas manera, sobre los trópicos y polos, continentes y mares, debido también a los accidentes topográficos y la rotación de la tierra, la atmósfera se halla en constante movimiento, formando franjas de fuerte viento en la altura, remolino, ciclones, tormentas, frentes, etc., que determinan distintos fenómenos meteorológicos con influencias sobre las actividades humanas, a veces benéficas y en otros casos nefastas.

LA ATMOSFERA TERRESTRE

Se dice que la atmósfera es una envoltura gaseosa que rodea a la litosfera y a la hidrosfera y las acompaña en sus movimientos, que son (entre muchos otros) los de traslación del Sol, de rotación alrededor del Sol y alrededor de su propio eje.

Claro está, que no en todo lugar se mueve la atmósfera en unísono con la Tierra, allí donde no lo hace, tendrá un desplazamiento respecto de la superficie, produciéndose el viento.

La atmósfera es, en realidad, una mezcla de gases en estado molecular, cuya composición volumétrica, al nivel del mar para aire seco es la que sigue: Nitrógeno 78%, Oxígeno 21%, Argón 0,9%, Dióxido de Carbono 0,03% otros constituyentes 0,02%.

La atracción de la Tierra (fuerza de gravedad), es la que mantiene a la atmósfera adherida a la Tierra. Por el movimiento térmico las moléculas se hallan en constante movimiento: ejecutan tramos rectilíneos hasta chocar con otras moléculas. **Figura 1.**

FIGURA .1

MOVIMIENTO TERMICO DE LAS MOLECULAS DE AIRE



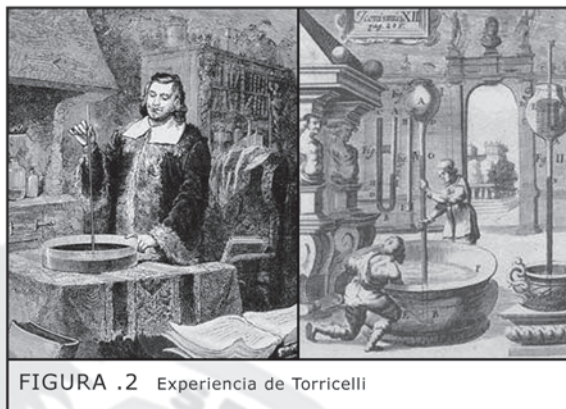
Este movimiento hace que la composición del aire, que tenemos al nivel del mar, se mantenga sensiblemente constante hasta grandes alturas.

A esta composición del aire seco se agrega el vapor de agua, en proporción variable, formando el aire húmedo. Como máximo llega a 4% del volumen total. El vapor de agua disminuye rápidamente con la altura, de modo que a 30 km se encuentran tan solo trazas del mismo. El aire natural contiene, además, algunos materiales en suspensión, formando un "aerosol" con partículas de polvo, de sal marina, de hollín, etc.

Al nivel del mar caben millones de moléculas de aire en una cabeza de alfiler, pero, a medida que aumenta la altura, las moléculas se hacen cada vez más dispersas, hasta que la atmósfera, a una altura superior a los 1000 km se esfuma hacia el espacio interplanetario. Así, la densidad del aire disminuye con la altura, en forma continua, hasta hacerse prácticamente nula.

Si uno expone una superficie determinada al aire, las moléculas chocan continuamente contra la misma, ejerciendo una fuerza. Dicha fuerza por unidad de superficie se llama PRESION. Tan grande es la presión atmosférica al nivel del mar, que un escritorio de 2m² soporta un peso de 2 toneladas (claro está que esa fuerza, es ejercida por el aire desde arriba y desde abajo). Por la misma fuerza, en un tubo de agua, al que se le ha practicado el vacío, el agua subirá 10 m (límite del bombeo de agua por succión). Análogamente el mercurio, que es mucho más denso, subirá unos 76 cm en un tubo vacío (experiencia Torricelli). Así, la presión normal al nivel medio del mar es de "760 mm de mercurio" o de 1013.2 hPa (hectopascales) o mb (milibares). **Figura 2.**

Puede demostrarse que la presión es igual al peso por unidad de superficie de la columna de aire desde el nivel en que se mide hasta el límite de la atmósfera. Entonces, cuando uno se eleva, dejando parte de la masa de aire por debajo, la presión disminuye, al igual que la densidad. Dicha variación es aproximadamente logarítmica: 5000 m la presión se reduce a su mitad. Así, a 5000 m



hay ½ atmósfera, a 10.000 ¼ y a 15.000 m 1/8, etc.

Al tener el aire siempre la misma proporción de oxígeno, si uno se eleva a 5000 m, respira el mismo volumen de aire, mientras su presión parcial es la mitad y la sangre recibirá solamente la mitad de oxígeno; en ese caso se dice que uno se "apuna".

A muy grandes alturas, a partir de unos 100 Km, el fenómeno de decantación hace que aumenten las proporciones de helio e hidrógeno, a expensas de los demás constituyentes. Además, por la presencia de la radiación solar de alta energía (rayos cósmicos), se desarrollan procesos fotoquímicos. Uno muy importante es la formación de ozono, que luego se concentra en mayor proporción en una capa alrededor de los 25 Km de altura y que, al absorber la radiación ultravioleta, protege a los ojos y piel contra la misma.

Otro proceso es la disociación de las moléculas, formando oxígeno y nitrógeno atómico e iones, es decir; partículas eléctricamente cargadas.

Así entre 60 y 150 Km de altura y más, se hallan las distintas capas de la ionosfera, tan importantes para la radiopropagación.

También se encuentran, en esas alturas, los meteoritos, que son partículas extraterrestres, frecuentemente no mayores de un grano de arena y que, al penetrar en la atmósfera con enorme velocidad, se vuelven incandescentes y se evaporan por fricción: son estrellas fugaces.

La variación de la temperatura con la altura es realmente compleja. Está determinada, principalmente, por el intercambio de calor con



la superficie terrestre, las propiedades de radiación de las distintas capas atmosféricas y la interacción fotoquímica con la radiación solar. Observemos ahora, la **Figura 3**.

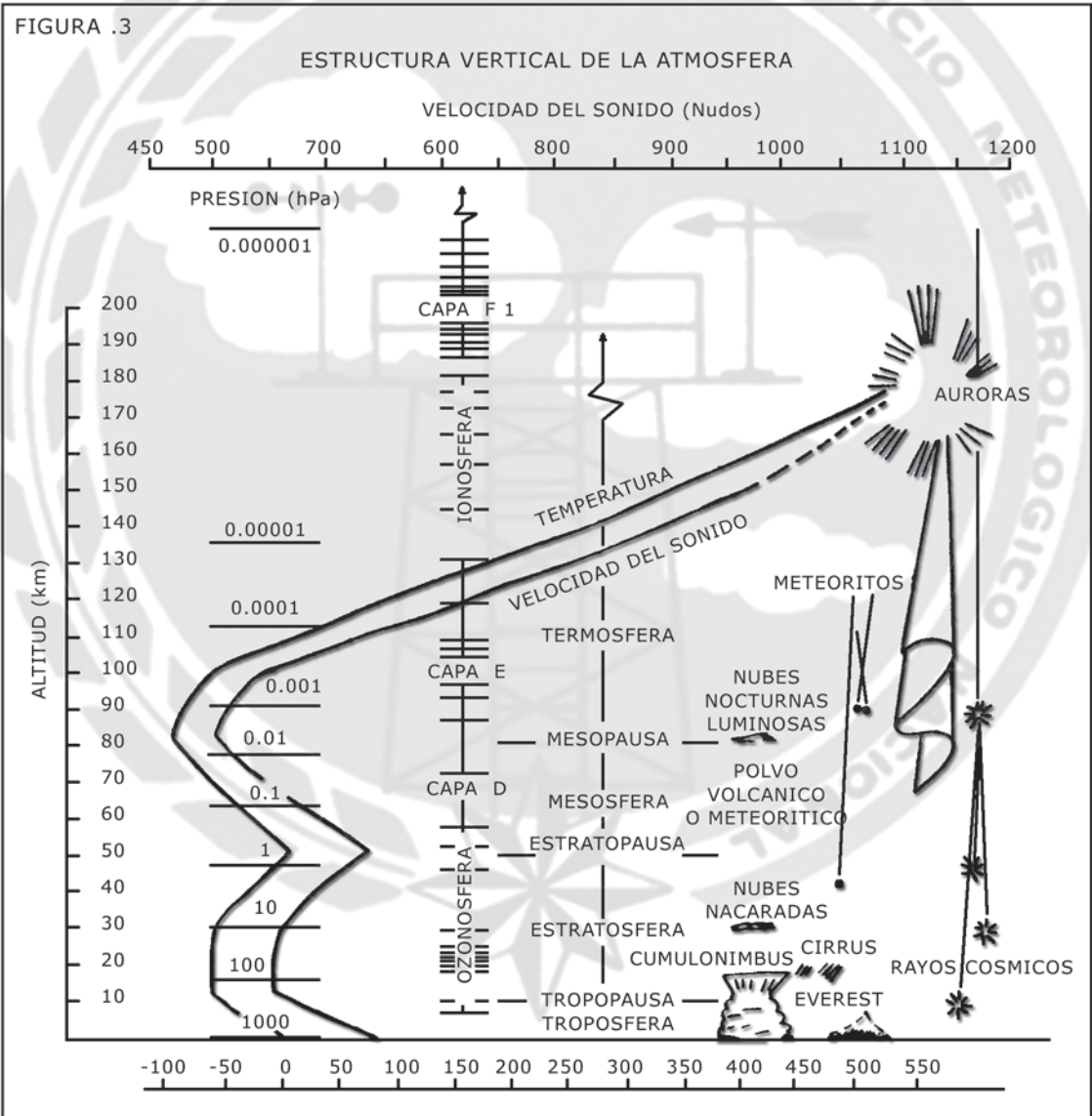
Encontramos, primeramente, la **troposfera** que al nivel del mar presenta una temperatura media de 15° C, en cuyo seno la temperatura decrece a razón de 6,5° C cada Km. a los 12 Km de altura media se alcanza un mínimo, con aproximadamente -60° C, nivel que se denomina **tropopausa**. La altura a que se encuentra este nivel es variable, pudiendo alcanzar hasta los 18 Km en el Ecuador y 6 Km en los polos; inversamente la temperatura

en el Ecuador será más fría que la polar en esos niveles.

Por encima de ésta se halla la **estratosfera**. En ella la temperatura se mantiene constante para luego ir aumentando. Se llega a unos 50 Km de altura, a un máximo de, aproximadamente, 0° C que determina la **estratopausa**.

Más arriba se halla la **mesosfera**. En ella vuelve a decrecer la temperatura para llegar hacia los 80 Km, a unos -120° C, un mínimo absoluto que determina la **mesopausa**.

Por encima de halla la **termosfera**, en la que la temperatura vuelve aumentar a más



de 1000° C, aunque en esa altura y dado el enrarecimiento del aire pierde sentido la noción de temperatura.

El límite difuso de la atmósfera hacia el espacio interplanetario, se llama **exosfera**; allí las moléculas describen grandes trayectorias antes de cada choque, o son expulsadas al espacio interplanetario.

Este, a su vez, está surcado por radiaciones de carácter ondulatorio o corpúsculos que provienen del Sol y que son denominadas **plasma solar o viento solar**.

El viento solar es perturbado por el campo magnético terrestre, que determina la **magnetosfera**, que alcanza hasta unos 80.000 Km del centro de la Tierra.

Cuando hay perturbaciones solares, como ser las irrupciones de plasma, el campo magnético terrestre sufre bruscas variaciones (tormentas magnéticas, "fading").

Y allí donde el campo magnético terrestre capta los corpúsculos solares se observan auroras polares.

LA ATMOSFERA METEOROLOGICA

Excepto ciertas propiedades de radiación, a los meteorólogos solo les interesan los primeros 30 km de atmósfera sobre la superficie terrestre.

Esta es la atmósfera meteorológica. En efecto, se ha comprobado que la circulación de la atmósfera, que afecta el estado del tiempo, solo alcanza hasta la altura indicada, mientras que lo que ocurre arriba, se desarrolla en forma independiente.

Así, se ve que los ciclones y anticiclones, frentes y corrientes en chorro no superan, en su influencia, la altura de 30 km. Por otro lado, las nubes alcanzan en el Ecuador una altura máxima de 20 km, pero solo 8 km sobre el Polo.

Dicha capa es muy chata. Si uno traza una circunferencia de 1 m de diámetro en el pizarrón, el trazo de la tiza corresponderá en forma aproximada, al espesor de la atmósfera meteorológicamente interesante. A pesar de ello dicha capa contiene el 99% de la masa total de la atmósfera terrestre.

Ello es muy conveniente para el meteorólogo, ya que dicha capa es fácilmente observable con estaciones meteorológicas de superficie, con globos sondas que, al ascender, transmiten a tierra presión, temperatura y humedad, y con aviones y satélites meteorológicos. Estos primeros 30 km contienen la troposfera, la tropopausa y parte de la estratosfera.

Además, el rozamiento del aire con la superficie terrestre produce otra división; la capa de fricción o capa límite planetaria, que alcanza los primeros 1000 m de altura, y por encima de ella se halla "la atmósfera libre".

Se dice que la atmósfera es una "máquina térmica". En efecto, en la **figura 5** se ve que aire frío del exterior entra a ras del suelo a la habitación calefaccionada, mientras que el aire cálido sale por la parte superior de la puerta. Es que, por efecto de la gravedad, el aire frío (mas pesado) tiende a disponerse horizontalmente por debajo del aire cálido (más liviano).

El Sol es la fuente de energía para la atmósfera. La radiación solar atraviesa la atmósfera y calienta la superficie, y el suelo, por contacto con la atmósfera, le entrega a

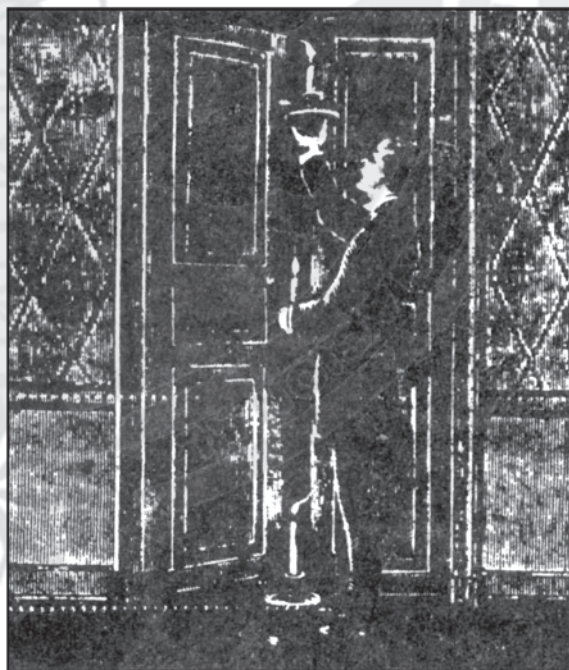


FIGURA .5



ésta su calor. Está claro que el Sol no calienta siempre igual. De día y noche, Ecuador y Polo, continente y mar, bosques y desierto, marcan grandes diferencias, y se dice que la atmósfera sufre un "calentamiento diferencial".

En aquellos lugares donde la superficie calienta a la atmósfera, próximos a un área donde aquella no lo hace, el aire calentado tiende a elevarse y ser reemplazado por el aire más frío. Así, conocemos bien la brisa de mar, que en días de buen tiempo y poco viento, sopla por la tarde desde el mar al continente. **(Figura 6)**. De noche, cuando el continente se enfría pero el mar conserva su temperatura, se invierte el calentamiento y observamos una leve brisa, de tierra al mar. En Mar del Plata, puede verse este efecto casi a diario.

Lo mismo sucede con las brisas valle-montaña. Durante la tarde, el viento sopla del valle a la montaña y, de noche, de la montaña al valle. En Jujuy, Salta y Mendoza este fenómeno rítmico esta muy bien desarrollado.

Veamos ahora en una escala mayor, que es lo que ocurre entre Ecuador y el Polo.

En principio, las masas de aire, caldeadas por la superficie marina y continental tropical, se elevan, y aquellas situadas sobre frías superficies de hielo y nieve polar, descienden. Para completar la circulación las masas de aire en superficie se dirigen al Ecuador y aquellas en gran altura hacia el Polo. En superficie, habría viento Norte en el hemisferio Norte y del sur en el hemisferio Sur.

Pero las cosas se complican porque la tierra gira. Si lanza una bolita desde el centro de un tocadisco hacia su borde, visto de lejos el camino de la esfera será rectilíneo, pero sobre el disco marcará una trayectoria curvilínea **(Figura 7)**.

Para un observador fijo al disco, la bolita no se desplaza a lo largo del radio del disco, sino que forma con éste un ángulo. Lo mismo pasa, en la atmósfera, sobre la tierra: el flujo de aire se desvía, a la derecha en el HN y a la izquierda en el HS. Entonces, volviendo a nuestra circulación, habría viento del NE en el HN y del SE en el HS y en altura vientos del SO y NO respectivamente.

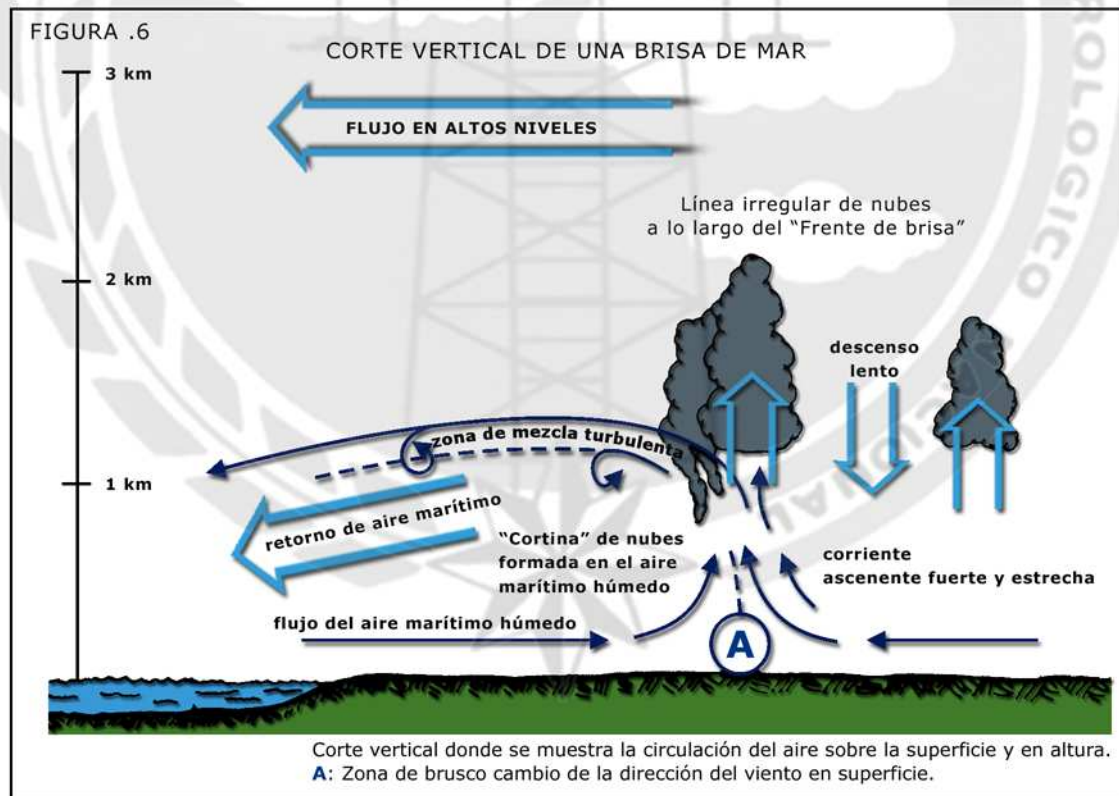


FIGURA .7

EXPERIENCIA DEL DISCO

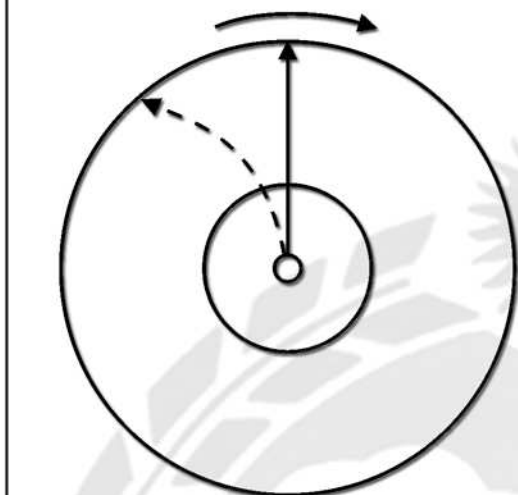
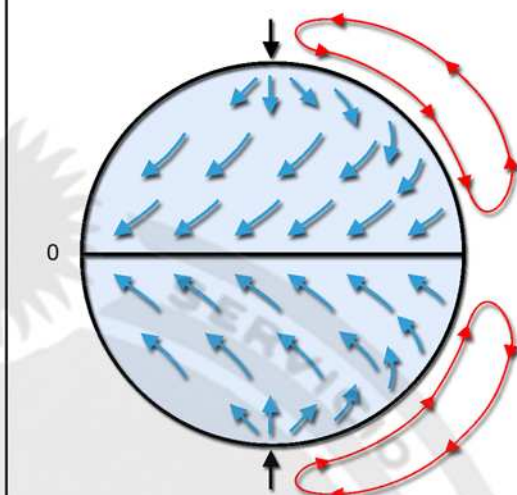


FIGURA .8

CIRCULACION ATMOSFERICA HIPOTETICA



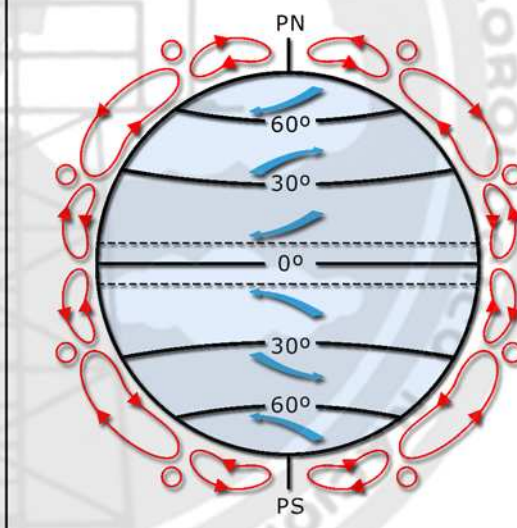
Pero hay todavía otro factor que es el rozamiento con la superficie terrestre, que produce una fuerza en la dirección en que sopla el viento; los árboles se mueven, se despliega la bandera, se levantan hojas y papeles, se forman olas en el mar y en casos extremos, son volteados árboles, derribados letreros o levantados techos.

En la **Figura 8**, se ve que si así sopla el viento en superficie, todas las fuerzas sobre la superficie terrestre se dirigirían hacia el Oeste; el giro de la Tierra se frenaría. Este no es el caso, porque la atmósfera no puede realizar dicho trabajo: no tiene (principio de la plancha) ningún punto de apoyo externo, ya que se esfuma hacia el espacio interplanetario prácticamente vacío. Tiene que haber alguna franja en la que el viento sople del Oeste; de tal manera de compensar las fuerzas que tienden a frenar la Tierra con otras que tienden a acelerarla. Es natural que ello suceda en una zona donde las masas de aire no sean ni calentadas ni enfriadas demasiado: **las latitudes medias**. Los habitantes de Comodoro Rivadavia y de Río Gallegos conocen muy bien este viento del oeste.

En la **figura 9** se da, en forma esquemática, la circulación general de la atmósfera.

FIGURA .9

CIRCULACION GENERAL DE LA ATMOSFERA



Cerca del Ecuador hay una franja de poco viento y de presión relativamente baja; allí se encuentran las "calmas ecuatoriales", como el aire asciende, y al hacerlo se enfría, no pudiendo retener el vapor de agua que contiene, se forman grandes nubes "cumulonimbus" de tormenta y se observan intensos chubascos acompañados por relámpagos, truenos y ráfagas. Son las



“lluvias cenitales”, que se desplazan alrededor del Ecuador a unos 6 a 10° de latitud, hacia el hemisferio del verano. De acuerdo al campo de vientos a esa banda ecuatorial se la denomina Zona de Convergencia Intertropical (Z CIT).

A ambos lados soplan los vientos alisios, del NE en el HN y del SE en el HS. Abarcan una franja, de aproximadamente 30° de latitud hasta las calmas ecuatoriales. Los alisios son de una constancia notable y los árboles o arbustos expuestos al viento crecen deformados. El tiempo, cuando uno se aleja de la región ecuatorial, se presenta cada vez más seco; solamente las laderas de las montañas expuestas al viento del mar reciben apreciable cantidad de lluvia.

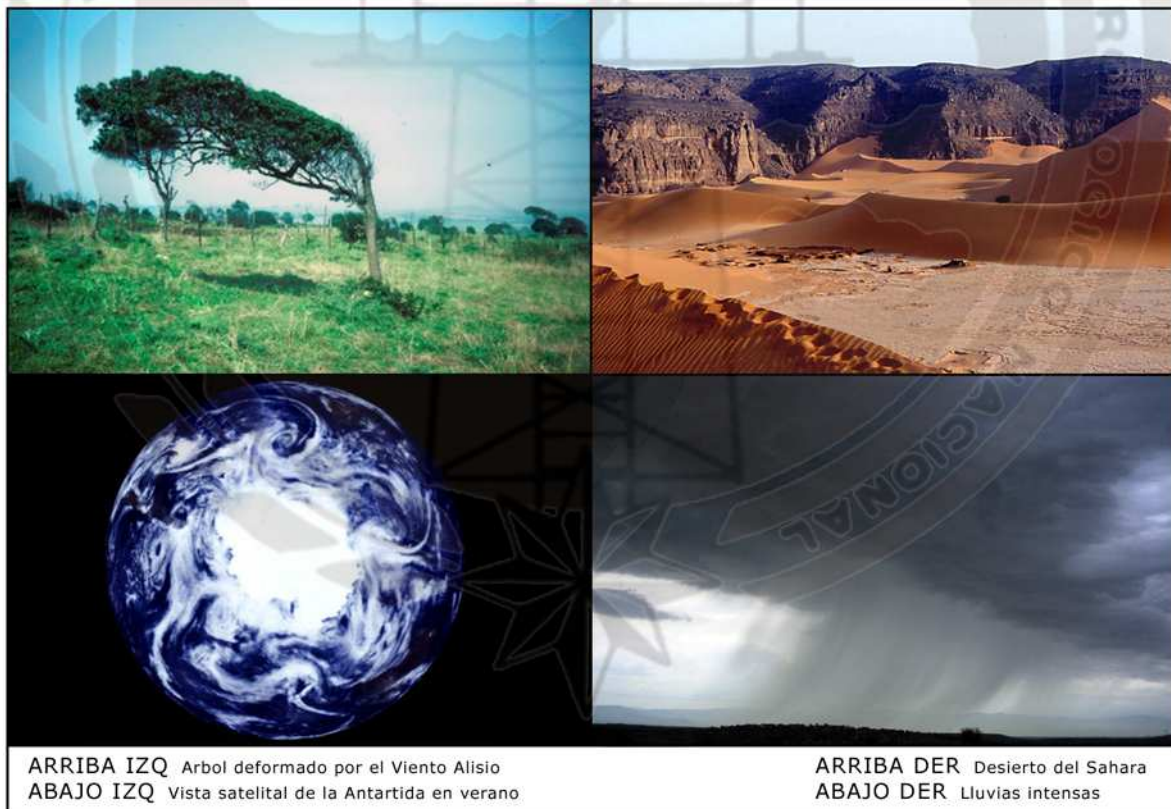
Más lejos del Ecuador, cerca de los 30 grados de latitud sur y norte, se encuentran las “calmas de Ross”, zonas ocupadas por los grandes anticiclones subtropicales semipermanentes. Por encima de una capa relativamente húmeda de unos 1500 m. de altura, el aire es extremadamente seco,

debido a que proviniendo de capas superiores es calentado por la compresión producida por movimientos descendentes. Ello determina una ausencia casi total de precipitaciones. En estas zonas encontramos los grandes desiertos del mundo, como el Sáhara.

Entre unos 30° y 60° de latitud norte y sur, soplan los vientos del oeste, que se dominan, las latitudes medias. Esta zona tiene una característica muy particular: es la variabilidad del tiempo.

Si volvemos una vez más a la **Figura 9**, vemos que en las latitudes medias, al contrario de lo que sucede en las tropicales y polares, el aire caliente tiende a ponerse debajo del aire frío, aumentando, cada vez más, el contraste meridional de temperatura y la inestabilidad del flujo atmosférico.

Al igual que las olas del mar, cuando el viento es muy fuerte o al llegar a la playa, forman rompientes, en la atmósfera se rompe el flujo regular y se forman ondas y vórtices. Son los ciclones y anticiclones migratorios de las latitudes medias.



ARRIBA IZQ Arbol deformado por el Viento Alisio
ABAJO IZQ Vista satelital de la Antartida en verano

ARRIBA DER Desierto del Sahara
ABAJO DER Lluvias intensas



Además, el gran contraste de temperatura, lleva a enfrentar masas de aire muy distintas: se forman los frentes. La inestabilidad posibilita, además, la formación de tormentas, que son temidas por las repentinas ráfagas destructoras, granizo o pedrisco, lluvias intensas y las correspondientes inundaciones y eventualmente, tornados.

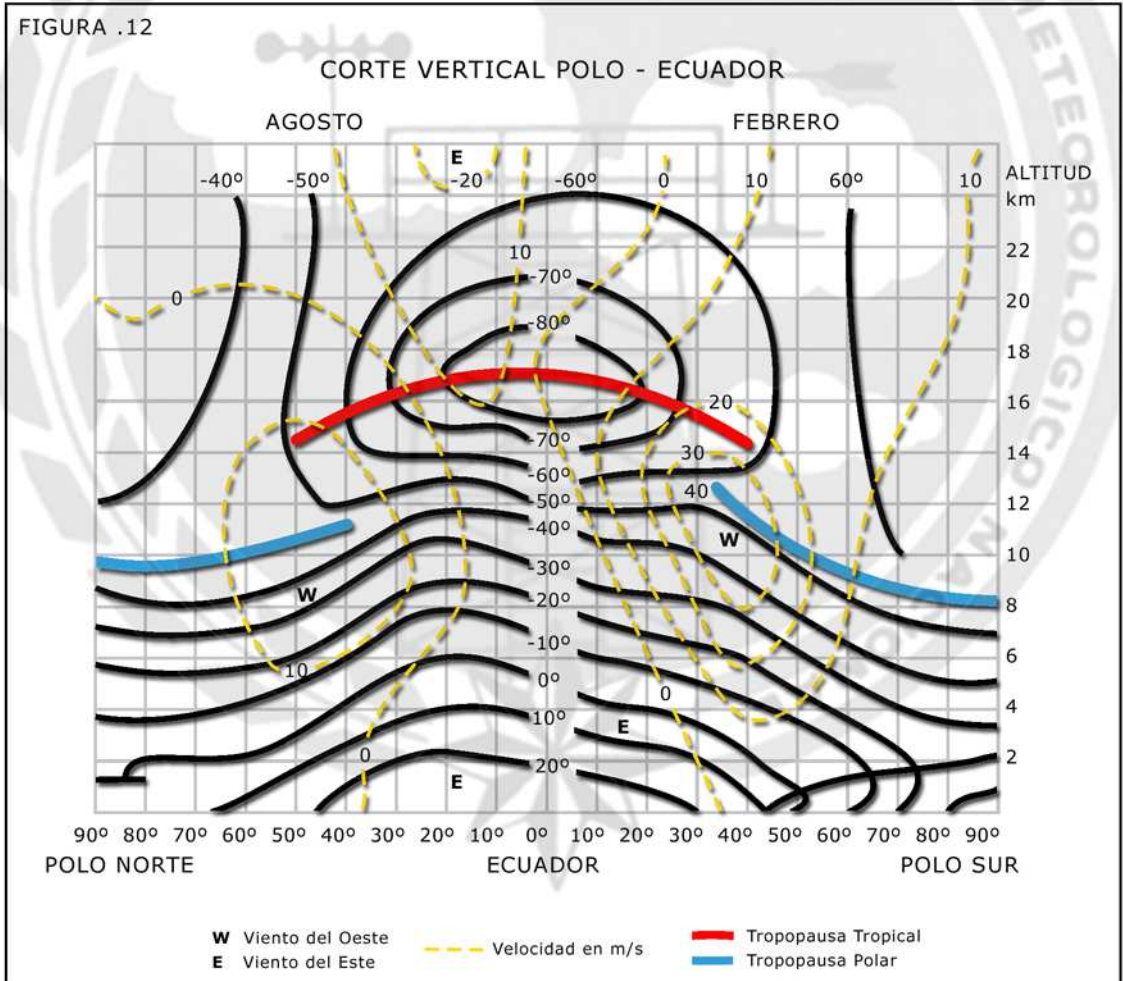
De 60° de latitud sur y norte hacia los Polos, vuelven a predominar los vientos con componente del Este. En 60° de latitud, la presión es mínima; por esta razón transitan los grandes ciclones subpolares, engendrados en las latitudes medias, originando, temporales intensos y fuertes nevadas. Hacia los polos vuelve a subir la presión y el tiempo se hace más apacible aunque, naturalmente, muy frío.

En la **Figura 12** se ha hecho un corte vertical promedio de la atmósfera meteorológica.

La máxima temperatura se encuentra en superficie, en el Ecuador con 28° C y también la mínima, pero a 20 Km de altura, con -80° C. En superficie se han medido temperaturas extremas de más de 50° C en el Sáhara y de -90° C en el Polo Sur.

También se ve en la figura citada el flujo medio. Encontramos allí una zona de intensos vientos del Oeste que se llaman "Corrientes en Chorro", sobre todo en invierno en niveles próximos a la tropopausa.

Estos vientos del oeste hacen que, en las latitudes medias los "sistemas sinópticos" (anticiclones, ciclones, frentes) generalmente se muevan de Oeste a Este.



LA METEOROLOGIA

La meteorología es la ciencia que estudia el comportamiento de la atmósfera mejor dicho, de aquellos aspectos de la misma que interesan en el desarrollo del tiempo (meteorológico).

El interés por esta ciencia es natural. No hay casi ninguna actividad del hombre que no sufra, en mayor o menor grado, el impacto de las condiciones meteorológicas.

El estudio de la meteorología tiene, así de inmediato, un gran campo de aplicación.

Uno podría preguntarse: ¿Para qué sirve la Meteorología?

Dos son los aspectos fundamentales: Precaverse de las fuerzas destructoras de la atmósfera y aprovechar sus fuerzas productoras o, en otras palabras, evitar pérdidas y aumentar ganancias.

¿Cómo lo hace el meteorólogo?: Brinda información al usuario para ayudar en la toma de decisiones. Estas decisiones pueden ser muy triviales, como llevar o no un paraguas, pero pueden ser de consecuencias económicas enormes, e implicar intrincados problemas, como en la construcción de una gran represa.

En muchos casos, también se halla implicada la seguridad de la vida humana, (crecientes repentinas, aeropuertos cubiertos de niebla, embarcaciones afectadas por un ciclón tropical, etc.).

Esta información se brinda de dos maneras: información en el tiempo real información en tiempo diferido.

Las funciones en tiempo real proporcionan al usuario información sobre el estado del tiempo recientemente pasado, el presente y el probable futuro, es decir el **pronóstico del tiempo**

En cambio, las funciones en tiempo diferido proporcionan al usuario información sobre el estado del tiempo medio y sus variaciones, es decir la **climatología**.

Para ambas funciones el meteorólogo debe hacer las siguientes tareas:

- observar
- concentrar los datos
- analizar los datos

- elaborar la información
- difundir la información

• Observar

La atmósfera es observada en forma global, hoy día, con mucha precisión. Para nombrar solo algunos medios de observación, estaciones meteorológicas, buques mercantes, estaciones automáticas, boyas a la deriva, radiosondas, cohetes meteorológicos, radares, aeronaves y satélites meteorológicos ayudan al meteorólogo a obtener un cuadro tridimensional de la atmósfera en muy poco tiempo.

• Concentrar los datos

Si bien para las tareas en tiempo diferido es suficiente el envío de una planilla o de una "libreta meteorológica" a fin de mes, las tareas en tiempo real para realizar pronósticos, exigen operar un sistema de telecomunicaciones bastante evolucionado, para la concentración de datos no solo nacionales, sino de un gran área, que supera en mucho las fronteras nacionales. Esto implica líneas telefónicas, teletipos, telegrafía, microondas, circuitos vía satélite, facsimilado, radioteleimpresoras, computadoras de telecomunicaciones, etc. Al respecto, cabe mencionar que la Organización Meteorológica Mundial (OMM), organismo especializado de las Naciones Unidas, ha promulgado la Vigilancia Meteorológica Mundial de Observación, el Sistema Mundial de Procesamiento de Datos y el Sistema Mundial de Telecomunicaciones. Este último es de una eficiencia tal que en menos de una hora, se pueden tener todas las observaciones de superficie del mundo.

• Analizar los datos

En tiempo diferido, para establecer el "clima" de un lugar, es menester contar con una larga serie de observaciones. Cada observación es controlada y luego ingresada a computadora, cinta o disco, formándose un banco de datos.

En tiempo real, se realiza el análisis del estado del tiempo de un instante (reciente) dado, ya sea en forma manual o por computadora, elaborándose la "carta del



tiempo” o el “mapa sinóptico” con transcripción de los datos, y el análisis de la presión, los frentes, zonas de lluvia, etc.

• **Elaborar la información**

En tiempo diferido, se hacen estadísticas de promedios, varianza, valores extremos, períodos de recurrencia o, según los requerimientos del usuario, se abordan problemas más específicos, como ser el riesgo de granizo para compañías de seguro agrícola, cálculo de eventos de precipitaciones máxima para manejo hidráulico, etc.

En tiempo real, se confeccionan las cartas de superficie y altura previstas, ya sea en forma manual o por computadora, y se formula el pronóstico en base a ellas, ya sea para el

público en general, la aeronavegación, la navegación marítima y fluvial, las actividades deportivas, etc.

• **Difundir la información**

En tiempo diferido, se publican los anales climatológicos, atlas climatológicos, o se hace llegar al usuario el informe escrito sobre los resultados del estudio pedido. En tiempo real, los medios de difusión son la radio, la televisión, la prensa o, también, el teléfono para el usuario específico.

No cabe duda que, en este complejo accionar de la meteorología, es menester un constante trabajo de investigación, para el desarrollo y el perfeccionamiento de las tareas que deben realizarse.

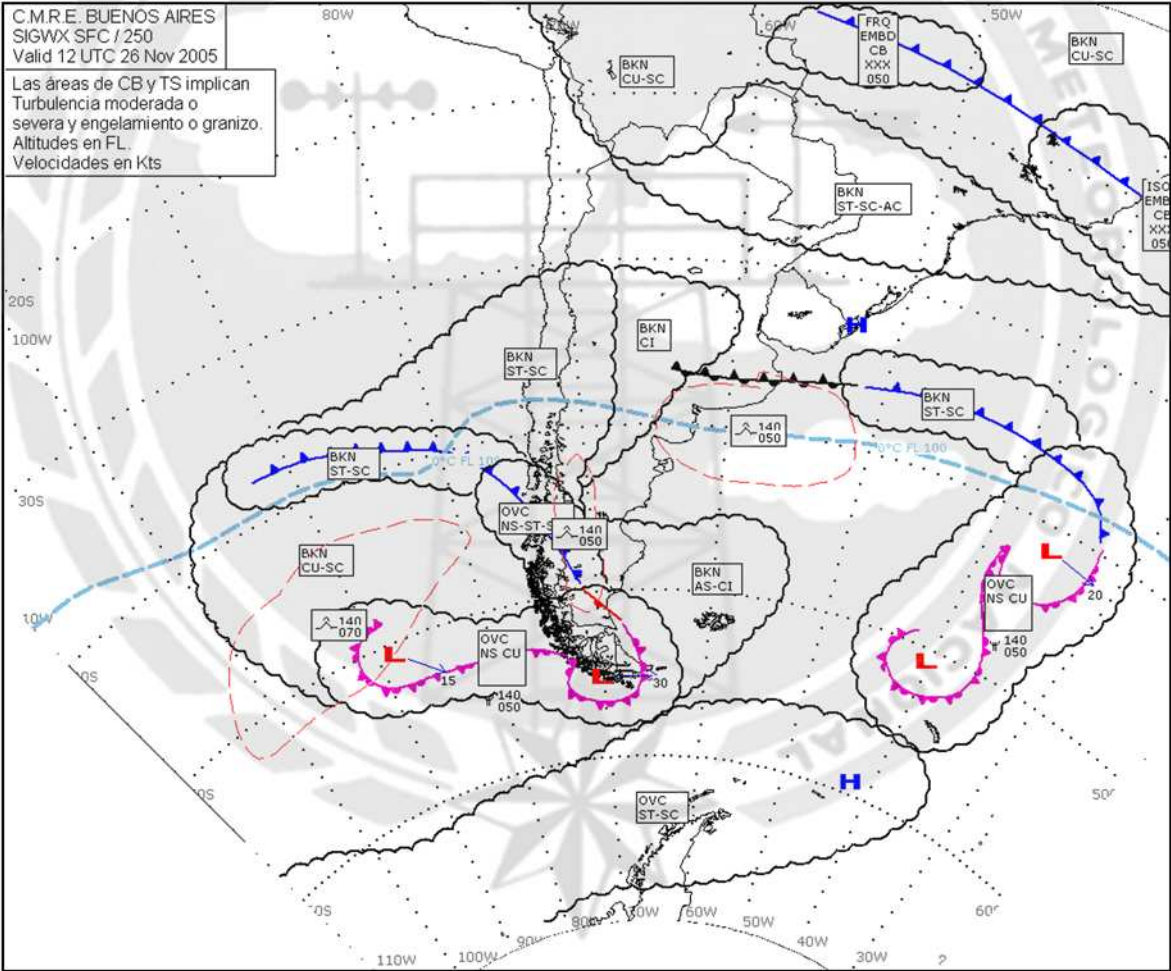


Figura .10 Carta del Tiempo por computadora

