



meteo



El océano gaseoso

Texto: **José Miguel Viñas** • Fotos: **Archivo**

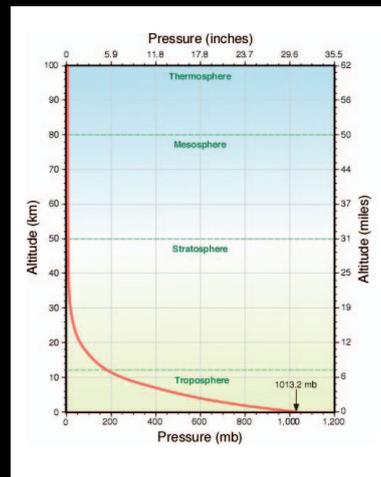


Vivimos en el fondo de un océano gaseoso” Esta frase, atribuida a Evangelista Torricelli, (1608-1649),

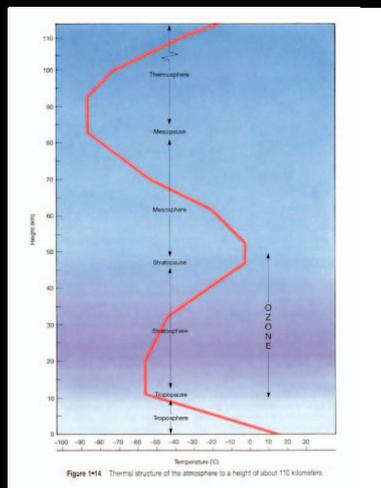
discípulo de Galileo Galilei (1564-1642) e inventor del barómetro de mercurio, describe de forma precisa la posición que ocupamos los seres humanos - extensible a todos los seres vivos- en la parte más baja de la atmósfera terrestre, sometidos a las mayores presiones atmosféricas generadas en el seno de la propia envoltura gaseosa que nos rodea. Al surcar los aires, logramos escapar ligeramente del fondo de ese océano de gas, pero seguimos inmersos en las profundidades de la atmósfera, ya que ésta, como veremos, se eleva centenares de kilómetros por encima de nuestras cabezas.

Cualquier libro o tratado de Meteorología, esté o no orientado a los pilotos, comienza con una descripción más o menos detallada de la atmósfera, principalmente en lo que se refiere a su composición, estructura vertical y características generales. Merece la pena hacer nuestra primera parada en estas cuestiones, ya que cuanto más cosas conozcamos de la atmósfera, más fácil nos resultará comprender todos los fenómenos que en ella acontecen, con muchos de los cuáles nos tocará vernos las caras ahí arriba.

El aire que nos rodea es una mezcla gaseosa bastante homogénea, que contiene también partículas de diferente naturaleza (polvo, carbonilla, sales marinas, bacterias...). Del conjunto de gases que constituyen esa mezcla, los mayoritarios -encabezados por el nitrógeno (N_2) y el oxígeno (O_2)- mantienen unas proporciones prácticamente constantes en los primeros 70 kilómetros de atmósfera, siendo químicamente muy estables. Si tomáramos un volumen de aire seco a nivel del mar y volúmenes similares a diferentes altitudes, comprobaríamos cómo en todos ellos la proporción N_2/O_2 es 78/21, ocupando ese par de gases el 99% del aire que respiramos o del que entra en los motores de las aeronaves. El 1% restante estaría constituido por algunos gases nobles, con el argón a la cabeza (0,93%), y otros gases traza, de proporciones variables, como el ozono (O_3) o los gases invernadero, a los que nos referiremos algo más adelante. No resulta del todo intuitivo comprender por qué los gases que forman el aire -salvo el vapor de agua, en el caso de que tengamos aire húmedo, y los demás gases traza- mantienen idénticas proporciones al ir ascendiendo por



Curva que muestra la disminución de la presión atmosférica con la altura.



Estructura térmica vertical de la atmósfera. La subida de la temperatura en la estratosfera es debida a la presencia de ozono.

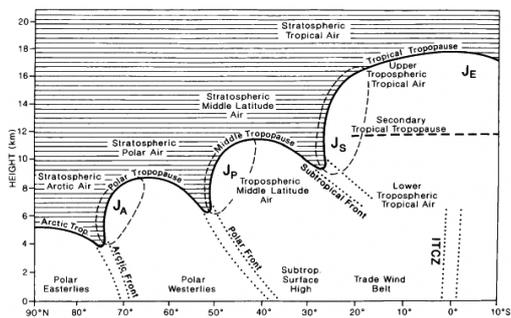
la atmósfera hasta esos 70 km. de altura antes apuntados. Puesto que la fuerza gravitatoria es la responsable de mantener ligada la envoltura gaseosa a la superficie terrestre, evitando que el aire escape hacia el espacio, cabría esperar una mayor abundancia de los componentes más pesados en la parte baja de la atmósfera, quedando situados los más livianos en niveles superiores. Si esto no es así, es por el continuo estado de agitación (turbulencia) al que se ve sometida la atmósfera, incluso en situaciones aparentemente encalmadas. Dicha agitación se da a todas las escalas y es la responsable de que la proporción N_2/O_2 apenas varíe con la altura, a pesar del mayor peso molecular del oxígeno frente al del nitrógeno. Nos hemos referido al aire seco, ya que en primera aproximación así podemos considerar a la mezcla gaseosa para el conjunto de la atmósfera, si bien el aire en los entornos en los que vamos a volar

siempre contiene una cierta cantidad de vapor de agua (H_2O), un gas traza, de proporciones muy variables, dependiendo del lugar de la Tierra en que estemos y de la situación meteorológica que tengamos. En determinados ambientes, extremadamente húmedos, el vapor de agua puede llegar a ocupar hasta el 4% del volumen (lo normal es que ocupe entre un 0,2 y un 0,7%), obligando al desalojo de parte del resto de gases que constituyen el aire.

A pesar de su pequeña proporción frente al nitrógeno y el oxígeno, el vapor de agua desempeña un papel fundamental en los procesos que tienen lugar en la atmósfera, tanto como gas de efecto invernadero, como en el ciclo del agua y en la dinámica atmosférica. Idéntico comentario (en lo que se refiere a su condición de gases invernadero) puede hacerse del dióxido de carbono (CO_2) o del metano (CH_4), cuyas proporciones se miden en partes por millón del volumen del aire, lo que no impide que resulten determinantes en el balance radiativo de nuestro planeta, actuando como termorreguladores.

Todos esos gases que componen la atmósfera terrestre se disponen verticalmente en una serie de capas, cada una de las cuáles presenta sus propias características. Mientras que la temperatura se ve sometida a variaciones de distinto signo según vamos ascendiendo por la atmósfera, la presión disminuye constante y rápidamente (exponencialmente) al ir ganando pies hacia arriba. El enrarecimiento del aire comienza a ser muy acusado por encima de 18.000 pies (unos 5 km. de altura). Por debajo de ese nivel se concentra la mitad de la masa del aire de la atmósfera, lo que da idea de la elevada densidad que tiene el aire en los niveles inferiores en comparación con los altos. La práctica totalidad de la masa del aire (el 99%) se sitúa en los primeros 32 kilómetros de atmósfera, en lo que en relación a toda ella -de varios centenares de kilómetros de espesor- siguen siendo las cercanías del fondo del "océano". Lo normal al ascender hacia arriba por la atmósfera es que la temperatura vaya bajando (por término medio a razón de $2^\circ C$ por cada 1.000 pies, o de forma equivalente $6,5^\circ C$ por cada 1.000 m), salvo que tengamos alguna inversión térmica, en cuyo caso se invierte dicha tendencia negativa. El descenso casi continuo de la temperatura del aire no es indefinido, sino que se detiene a unos 11 kilómetros de altura en latitudes medias. Ese punto de flexión tiene lugar en la tropopausa, que es el nivel de atmósfera

Espectacular composición de imágenes de la Tierra tomadas por el sensor MODIS del satélite Terra de la NASA el 2 de agosto de 2002. La atmósfera se aprecia como un delgado y tenue anillo que rodea el planeta. Crédito: NASA Goddard Space Flight. Imagen elaborada por Reto Stöckli.



Corte transversal esquemático de los primeros 20 kilómetros de la atmósfera a lo largo de un meridiano terrestre en el Hemisferio Norte. Se aprecian varios escalones o saltos, que son donde se localizan las corrientes en chorro. La altura de la tropopausa va disminuyendo al desplazarnos desde el Ecuador hacia el Polo Norte.

que marca la frontera entre la troposfera y la estratosfera (primera y segunda capa atmosférica respectivamente). La altura de la tropopausa es variable y depende de la latitud, siendo máxima en la zona del Ecuador y mínima en los polos. Mientras que la troposfera tropical se extiende hasta los 16-18 kilómetros de altura, en las regiones frías del planeta, donde la atmósfera está más "aplastada" contra la superficie terrestre, la troposfera apenas tiene 8 kilómetros de espesor. En la troposfera es donde tienen lugar la mayoría de los fenómenos meteorológicos y donde se concentra el grueso de la nubosidad y del agua atmosférica. La razón por la que la temperatura disminuye con la altura al ascender por dicha capa, reside en la manera en que el aire se calienta en esa parte baja de la atmósfera, ya que lo hace de abajo a arriba y no de arriba a abajo. El aire es un mal conductor del calor, por lo que la radiación solar es capaz de atravesar la atmósfera terrestre





Imagen tomada el 20 de agosto de 2007 desde la Estación Espacial Internacional, aproximadamente a unos 330 kilómetros de altitud. Domina la imagen un espectacular sistema tormentoso, con varias tormentas satélites más pequeñas a su alrededor. La blancura de las nubes contrasta con la negritud del espacio, bajo el cual aparece la banda azulada que perfila la atmósfera.
Foto: NASA.

sin apenas calentar nuestra envoltura gaseosa, salvo en determinadas regiones como la ozonosfera. Dicha radiación de onda más corta -más energética- que la que irradia la Tierra hacia el espacio, es la encargada de calentar la superficie terrestre, la cuál transmite parte de ese calor por conducción a la capa de aire apoyado sobre ella. Como consecuencia de esto, se forman burbujas de aire caliente junto al suelo que ascienden por la troposfera, transportando ese calor por convección. Dichos movimientos verticales de aire dominan únicamente en esa primera capa de la atmósfera, atenuándose el calentamiento según nos alejamos del suelo (foco de calor). De la tropopausa para arriba pasan a dominar los fuertes vientos (movimientos horizontales de aire), lo que impide a las burbujas de aire ascendente más vigorosas seguir su camino hacia arriba. Es justamente ahí donde se sitúan los toques de las tormentas, si bien en las de mayor desarrollo vertical (aquellas que dejan granizo y llevan asociadas fuertes ráfagas de viento y bastante turbulencia), las ascendencias de su parte central son capaces de penetrar algunos miles de pies en los dominios de la estratosfera, formándose allí un torreón nuboso, con fuerte turbulencia asociada, que recibe el

nombre de overshooting. En nuestras latitudes, la estratosfera se extiende desde los 11 hasta los 50 kilómetros de altura. En las cercanías de la tropopausa la temperatura del aire apenas varía con la altura, pero al ganar algo de altura rápidamente comienza a aumentar. Dicho aumento es debido a la presencia de moléculas de ozono, cuya máxima concentración se alcanza a unos 25 kilómetros de altura. El ozono absorbe una importante fracción de la radiación ultravioleta solar, siendo dicha absorción la que provoca el calentamiento en esos niveles estratosféricos. Mientras que a 50 kilómetros de altura, en el tope de la estratosfera -la llamada estratopausa-, la temperatura ronda los 0 °C, 40 kilómetros más abajo, en la tropopausa, la temperatura ISA (Internacional Standard Atmosphere) es de tan sólo -56,5 °C, lo que nos da idea de los fuertes contrastes de temperatura que se llegan a alcanzar en la atmósfera. Por encima de la estratosfera se sitúa la mesosfera, que se extiende desde los 50 hasta los 80 kilómetros de altura, si bien el aire está tan enrarecido en ella que sólo contiene el 1% de la masa total de la atmósfera. En dicha capa la temperatura disminuye de forma acusada al ascender,

alcanzándose en su parte superior valores del orden de los -90 °C. A partir de los 70 kilómetros de altura, las moléculas gaseosas se disocian en iones de distinto signo (positivos y negativos), por lo que el aire está cargado eléctricamente. Si atendemos a los procesos físico-químicos que tienen lugar allí arriba, podemos identificar esa zona como la ionosfera. Ciñéndonos al comportamiento de la temperatura, por encima de la mesosfera tendríamos la termosfera, una capa en la que vuelve a calentarse el aire al ascender, haciéndolo en este caso de forma extraordinaria. La mesosfera alcanza una altura que ronda los 500 kilómetros, si bien su comportamiento y estructura vertical dependen en buena medida de la actividad solar. En ella pueden llegar a alcanzarse temperaturas del orden de los 1.000 °C. Por encima de la mesosfera está situada la exosfera, que es la capa más exterior de la atmósfera, donde pasamos a tener es una especie de "nube electrónica", perdiendo la atmósfera su condición de envoltura gaseosa. En realidad, desde un punto de vista técnico, el tope de la atmósfera puede fijarse en tan sólo 118 kilómetros de altura, ya que mediante una serie de observaciones llevadas a cabo desde un cohete, se comprobó recientemente cómo justo ahí se localiza la zona de transición entre los vientos característicos de la alta atmósfera y los violentos flujos de partículas eléctricas que dominan en la región exterior, por lo que a esa modesta altura quedaría situada la frontera entre la atmósfera y el espacio exterior.

En Aeronáutica, tiene relevancia únicamente lo que ocurre en los primeros 15 kilómetros de atmósfera, lo que incluye a la troposfera en su totalidad y a la baja estratosfera. Los aviones comerciales no pueden volar mucho más arriba de la tropopausa, pero no así algunos aviones de combate y las aeronaves que en los próximos años está previsto que realicen vuelos suborbitales.

El estado de permanente agitación al que está sometida la atmósfera hace que cada vez que volemos tengamos unas condiciones meteorológicas distintas, caracterizadas por unas variables (presión, temperatura...) también distintas a las que establece la atmósfera ISA para los distintos niveles de vuelo. En próximos artículos seguiremos desarrollando todos estos asuntos de vital importancia para la seguridad aérea. ■

Para aclarar cualquier duda meteorológica que tengas y si quieres ver también publicadas en la revista tus fotografías de los cielos y de los fenómenos meteorológicos captados en tus travesías, puedes ponerte en contacto con nosotros a través del correo electrónico:

info@divulgameteo.es

Topo de la atmósfera con la luna al fondo. Foto: NASA.

