

Una atmósfera teórica para estudiar la real

José Miguel Viñas

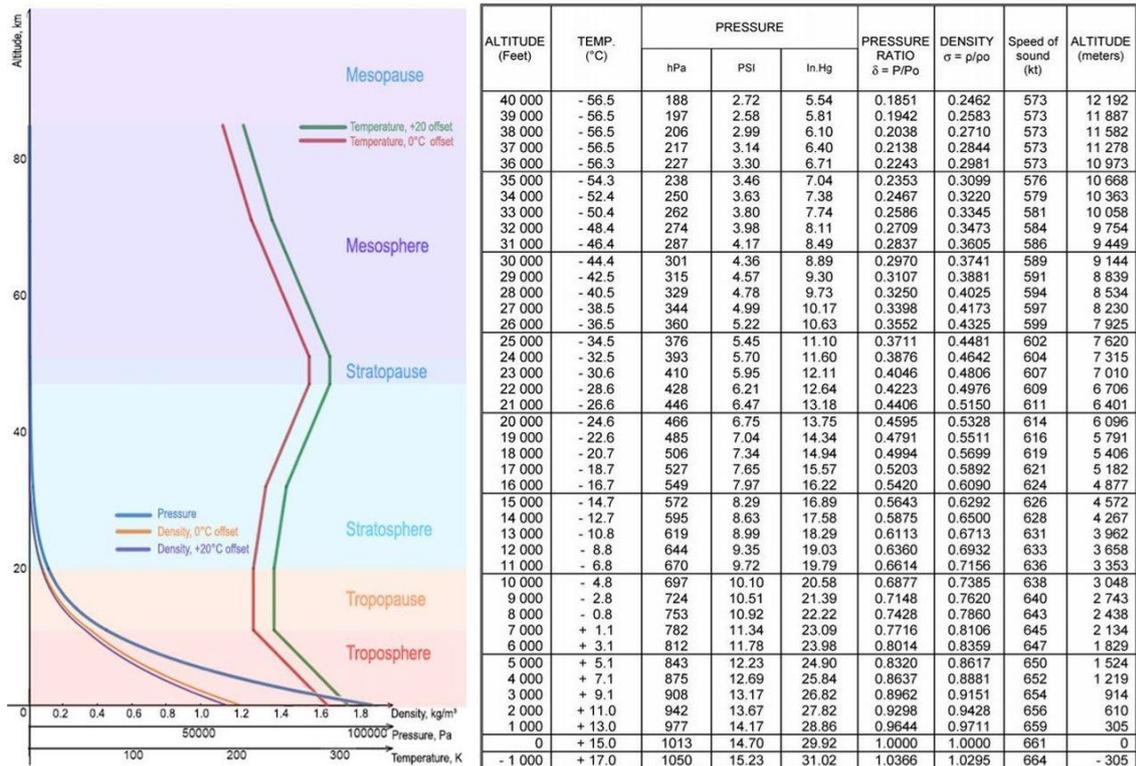
Artículo publicado originalmente en www.tiempo.com



La complejidad de la atmósfera terrestre requiere de la elaboración de modelos teóricos como el de la atmósfera estándar o ISA, que simplifican su comportamiento, facilitando su estudio.

Las propiedades del aire que forma la atmósfera cambian en todo momento y en todo lugar, si bien su comportamiento suele estar sujeto a unas pautas que, en primera aproximación, nos permiten establecer el esquema clásico de la división en capas atmosféricas, así como una serie de suposiciones en lo que respecta a la manera de evolucionar en la vertical variables como la temperatura, la presión y la densidad. Para estudiar el medio atmosférico, así como para desplazarse por él en la navegación aérea, resulta útil disponer de un modelo teórico de atmósfera, que daremos a conocer en las siguientes líneas.

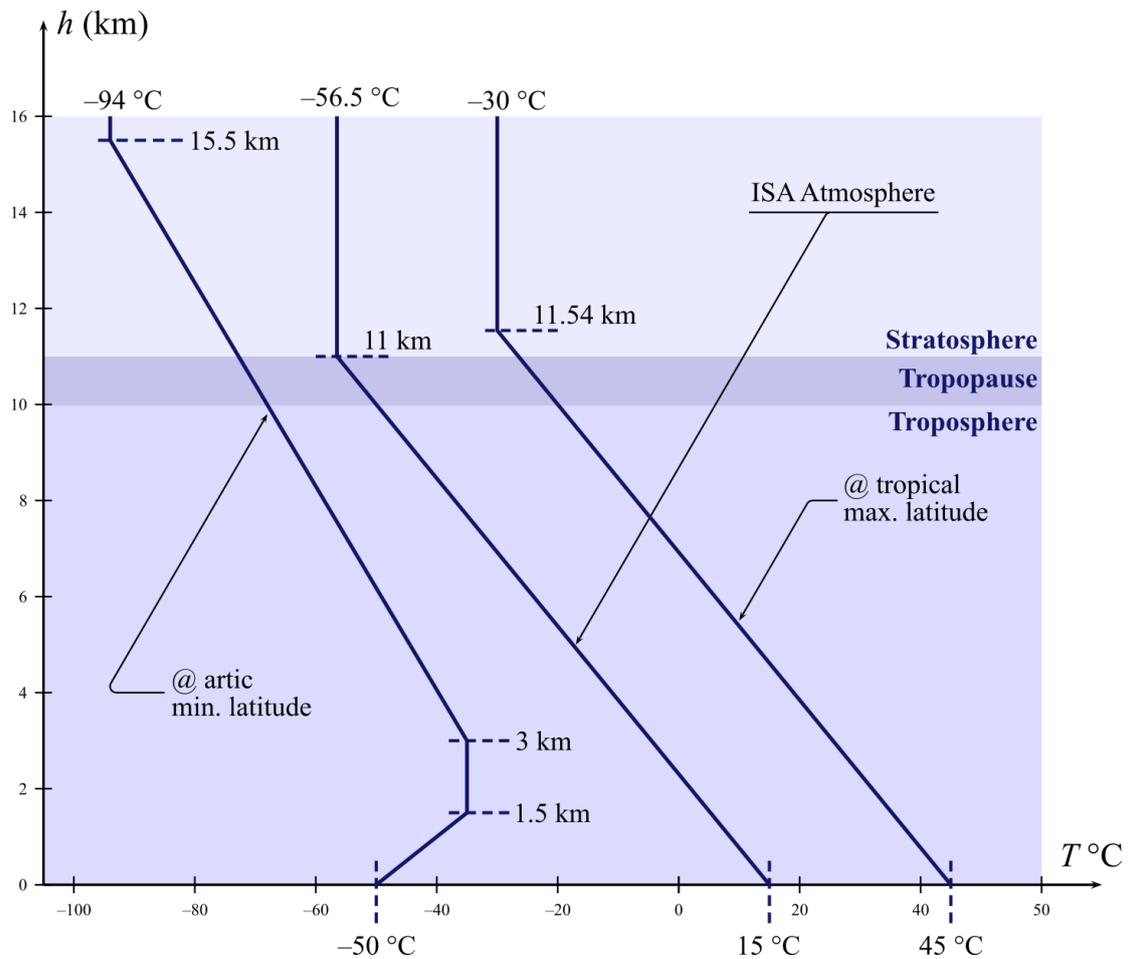
En 1922, la antigua NACA (*National Advisory Committee Aeronautics*) –precursora de la NASA– propuso el modelo de atmósfera estándar internacional, conocido desde aquel entonces por sus siglas ISA (*International Standard Atmosphere*), que a lo largo de los años fue adoptado por distintos organismos internacionales –como la OACI (Organización Internacional de Aviación Civil) o la OMM (Organización Meteorológica Mundial)– sometiéndose en su casi un siglo de historia, a distintas modificaciones y extensiones de su uso. En la actualidad, el modelo de la atmósfera estándar o ISA se extiende hasta la mesopausa (a 86 km de altitud).



Izquierda: Perfiles de las variables presión, densidad y temperatura en la atmósfera ISA e ISA+20. Fuente: <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/> Derecha: Tabla con valores de distintos valores a diferentes altitudes en la atmósfera ISA. Fuente: <https://aviationperformance.wordpress.com/>

La citada atmósfera de referencia tiene como base el nivel medio del mar, donde fija como condiciones una presión atmosférica de 1013,25 hPa, una densidad de 1,225 kg/m³ y una temperatura de 15 °C, equivalentes a 288,15 K. El referido valor de la presión (P₀), que podemos redondear a 1013 hPa, marca el límite entre las bajas y las altas presiones. Para cada una de las cinco capas en que –según criterios termodinámicos– se divide la atmósfera, la ISA establece un determinado gradiente térmico vertical; es decir, una tasa de variación constante con la altitud de la temperatura en cada uno de los tramos considerados.

En la atmósfera estándar, la troposfera tiene su base al nivel del mar (0 m) y su tope a 11 km de altitud (36.089 pies) y en toda ella la temperatura disminuye a razón de 6,5 K/km. En ese nivel atmosférico, donde da inicio la tropopausa, la presión ISA es de 226,32 hPa. Entre los 11 y los 20 km de altitud no hay variación vertical de la temperatura, siendo ese tramo de la baja estratosfera el que –siempre en la atmósfera estándar– se considera la tropopausa. La estratosfera se divide en otros dos tramos. En el primero de ellos –entre los 20 y los 32 km de altitud– la temperatura aumenta a razón de 1 K/km, mientras que por encima –entre los 32 y los 47 km– el gradiente térmico vertical sigue siendo positivo, pero es de mayor magnitud: +2,8 K/km. Finalmente, entre los 47 y los 51 km de altitud se sitúa la estratopausa, ya en los dominios de la mesosfera, volviendo allí a no variar la temperatura al ascender.



Variación teórica (ISA) de la temperatura con la altura en los primeros 16 km de atmósfera, correspondientes a la región ártica (izquierda), latitudes medias (centro) y región tropical (derecha). Fuente: <https://agodemar.github.io/FlightMechanics4Pilots/>

Tal y como ya apuntamos, las condiciones de la atmósfera estándar se han establecido, hasta la base de la mesopausa –a 86 km de altitud–, donde tenemos una temperatura teórica de 186,87 K (equivalentes a -86,28 °C) y una presión atmosférica de 0,003734 hPa. El aire en ese nivel de atmósfera está muy enrarecido. Nos encontramos ya en los dominios de la ionosfera, próximos a la región atmosférica donde se forman las bellas auroras polares. En la atmósfera ISA el aire se considera un gas ideal o perfecto, que cumple la ecuación de estado para los citados gases ($P=\rho RT$), lo que permite establecer los distintos niveles tipo de presión (850 hPa, 700 hPa, 500 hPa, 300 hPa, 200 hPa...) a altitudes fijas. Gracias a ellos, se confeccionan mapas de altura, fundamentales tanto el análisis y la predicción meteorológica, como para los planes de vuelo.

Si bien la atmósfera ISA se concibió inicialmente en base a los valores promedios observados en latitudes medias y para la baja atmósfera, con el paso de los años, los estándares se extendieron –como acabamos de describir– para las capas superiores atmosféricas, y también para latitudes altas y bajas. En la figura anexa se muestra el comportamiento teórico (ISA) de la temperatura con la altitud desde el nivel del mar hasta los 16 km, y podemos ver tres perfiles distintos, en función de la región terrestre considerada. Mientras que para la región ártica (latitudes altas del hemisferio norte), comprobamos que se parte de una temperatura a nivel del mar de -50 °C, con una

inversión térmica en el primer kilómetro y medio, seguida de una capa isoterma del mismo espesor, para comenzar a decrecer la temperatura de forma lineal hasta los 15,5 km de altitud, en la región tropical (latitudes bajas) se parte de una temperatura (teórica) de 45 °C a nivel del mar, para descender (-6,5 K/km) hasta los 11,5 km, de altitud, donde la temperatura alcanza los -30 °C, manteniéndose constante de ahí para arriba. Estas extensiones del comportamiento de la atmósfera estándar en latitudes medias, son prácticas a efectos aeronáuticos.