

# Medicina en un medio ambiente muy particular

*Carlos Velasco Díaz\**

## RESUMEN

En el presente artículo se describen las principales características del medio ambiente atmosférico, en el que se desarrolla la actividad aeronáutica. Su conocimiento es básico para comprender la fisiopatología en Medicina Aeroespacial.

Se comenta la disminución de la presión barométrica, las variaciones de temperatura, y el problema de la radiación que llega a la Tierra, así como las diferencias entre las distintas capas que componen la atmósfera y su importancia en la biología y fisiología humana.

## SUMMARY

The present article describes the principal characteristics of the atmospheric environment in which aeronautical activity takes place. Knowledge of this is basic for an understanding of physiopathology in Aerospace Medicine.

Comment is made on the decrease in barometric pressure, temperature variations and the problem of radiation that reaches the Earth, as well as the differences between the various layers that make up the atmosphere and their importance in human biology and physiology.

**L**A práctica médica habitual, la mayor parte de lo que se nos enseña en las Facultades de Medicina durante los cursos de Licenciatura, y lo que entiende el público en general por Medicina es en realidad Clínica. Aprendemos a tratar con el hombre enfermo, buscamos las causas de esa enfermedad, e intentamos curarle. Y sin embargo no toda la Medicina es Clínica.

El origen de las diferentes patologías puede ser muy variado, y en ocasiones es el propio medio en el que el ser humano desarrolla su actividad el causante de la misma. A su vez, distintas situaciones patológicas pueden verse modificadas por las condiciones del medio.

La Medicina del Trabajo surgió para estudiar la posible influencia

que los distintos medios laborales podían tener sobre el sujeto. De igual manera y dadas las particularísimas condiciones en que se desarrolla la actividad aeronáutica, surgió esta otra rama de la Medicina: la Medicina Aeroespacial.

Para entender las alteraciones fisiopatológicas que en sucesivos artículos se irán abordando, es imprescindible conocer, aunque sea someramente, las características de ese medio, ya que muchos de los problemas derivarán de él.

## CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO

Hemos de distinguir primeramente el medio que afecta a la Medicina Aeronáutica, que en concreto se limita a las capas más bajas de la atmósfera, y casi exclusivamente a la primera de ellas, conocida como troposfera, del que interesa a la Medicina Espacial,

referido a las capas superiores y al "vacío" espacial.

La disminución de la presión barométrica, y en consecuencia de la presión parcial de oxígeno, las variaciones de la temperatura y de la humedad, y en menor medida las radiaciones, son tema de trabajo de la primera, mientras que en Medicina Espacial serán la microgravedad y las radiaciones los principales motivos de estudio, sin olvidar, naturalmente,

que la presión del entorno estará extremadamente reducida, acercándose al auténtico vacío.

Analizaremos a continuación de una forma resumida las características del medio aeronáutico.

La envoltura gaseosa que rodea la Tierra, lo que conocemos como atmósfera del planeta, es en realidad una mezcla de gases y tiene, en nuestro caso una masa de  $5,29 \times 10^{21}$  grs. Esta cantidad de masa depende de dos factores:

\* Capitán Médico. Centro de Instrucción de Medicina Aeroespacial. Madrid.

1. La radiación térmica recibida del Sol, que al calentar las moléculas gaseosas favorece su expansión y que tiendan a "escapar" hacia el "vacío espacial".
2. La fuerza de atracción gravitacional del planeta que atrae a esas moléculas impidiendo su escape.

Del equilibrio de esas tensiones opuestas dependerá el espesor de la atmósfera. En general se acepta como límite superior una altitud en torno a los 700 Kms., donde el número de partículas es escasísimo, y su energía cinética tan elevada que escapan fácilmente del poder de atracción gravitacional terrestre.

Naturalmente la PRESION y la DENSIDAD de la atmósfera disminuyen conforme nos alejamos del nivel del mar. Como es fácilmente comprensible, y se deduce de los dos factores mencionados, la densidad será mayor en las capas inferiores. La presión disminuye como se indica en la figura 2, de forma que entre los 5,5 y los 6

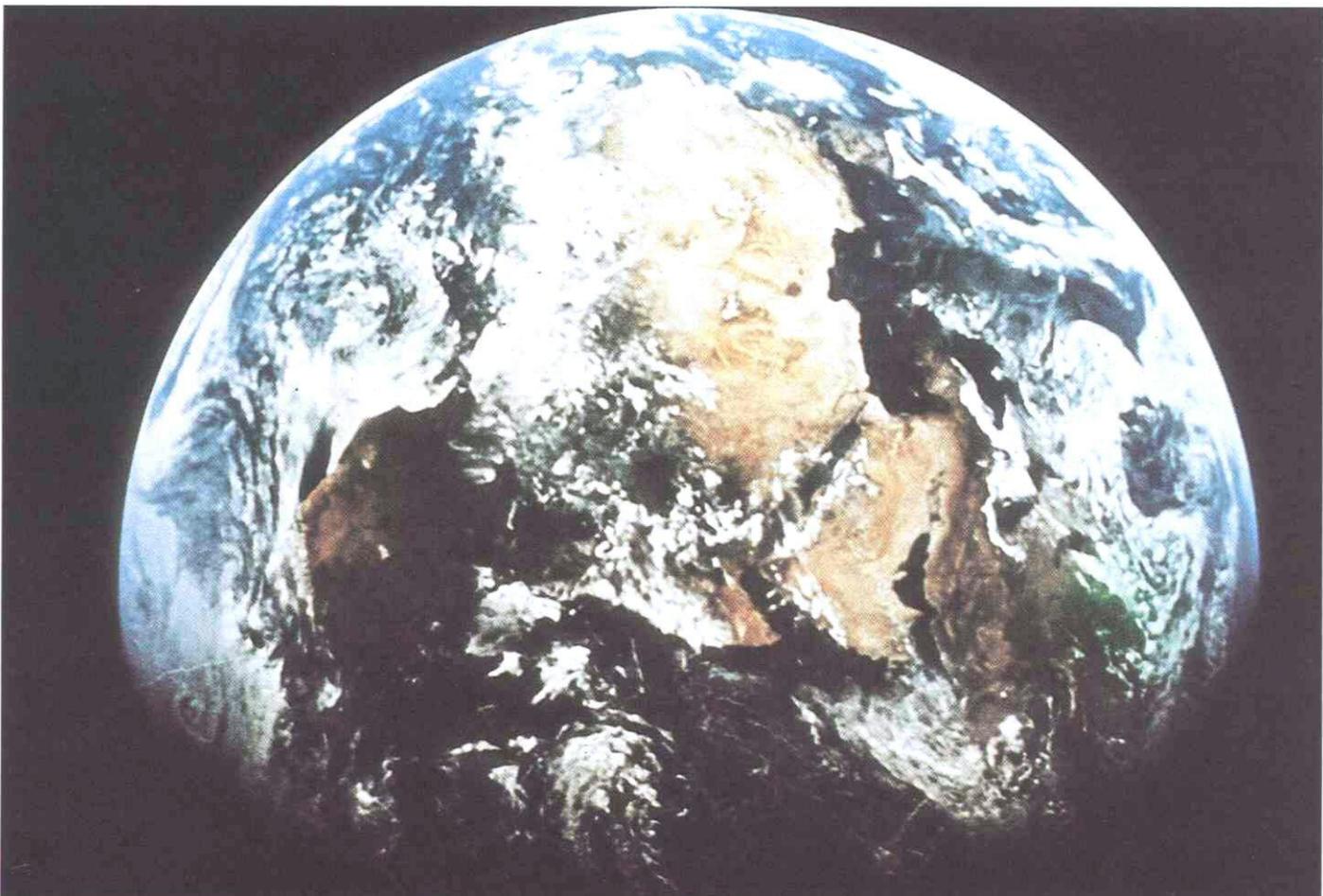


Kms. es la mitad que a nivel del mar, y se reduce a la cuarta parte en torno a los 11 Kms.

En cuanto a la TEMPERATURA también varía notablemente con la altitud, si bien depende de otros factores como la situación geográfica o la época del año. En la troposfera, capa inferior (Figura 3) el descenso es de 5 a 10 grados centígrados por cada 1.000 m., alcanzándose los 56 grados bajo cero en los niveles inferiores de la capa siguiente, la estratosfera. Aquí se produce un nuevo

ascenso debido a las reacciones que tienen lugar en la formación del ozono, muy abundante en esa capa.

Por último en cuanto a características físicas importantes a tener en cuenta desde nuestro punto de vista, encontramos el problema de las RADIACIONES. El grado de ionización de nuestro entorno se debe en parte a la propia radioactividad terrestre, a la artificial, pero no podemos olvidar que nuestro planeta está siendo bombardeado continuamente desde el espacio exterior por partículas suba-



tómicas de alta energía: protones (en un porcentaje del 79%), partículas alfa (20%) y núcleos de átomos pesados (1%), que provienen del sol (radiación solar) o de otras estrellas (radiación galáctica). Tales partículas chocan con los átomos y moléculas que constituyen nuestra atmósfera produciéndose diferentes reacciones y desprendiéndose radiación secundaria, considerablemente menor, que penetraría en las capas más bajas.

Por lo que se refiere a la composición química del medio, se mantiene constante hasta los 300.000 pies de altitud y, como se ve en la Tabla I, prácticamente se puede decir que es una mezcla de nitrógeno y oxígeno. Por encima de esa altitud la ionización de las moléculas producida al chocar éstas con la radiación exterior, y el diferente peso atómico de los distintos elementos hacen que la distribución de los gases varíe, como se puede apreciar en la figura 3.

## CAPAS DE LA ATMOSFERA

Se han mencionado hasta el momento algunas capas de la atmósfera. Diferentes autores, atendiendo a distintas características, han subdividido el manto gaseoso que nos envuelve en varios niveles. Veamos cuales son.

Según la composición química se habla de HOMOSFERA para referirse a la zona de la atmósfera que mantiene una composición gaseosa uniforme, y que se extiende hasta una altitud de 90 a 100 Kms. desde el nivel del mar, conociéndose como HETEROSFERA la capa superior, en que se pierde dicha uniformidad.

De acuerdo con las características físicas, y especialmente con las variaciones térmicas, se distinguen las siguientes capas:

— TROPOSFERA, caracterizada por la presencia de vapor de agua, corrientes de aire y formación de nubes, con una disminución constante de la temperatura. En ella se producen los fenómenos climáticos, y es en la única en que puede desarrollarse la vida sin necesidad de un soporte artificial, y esto sólo en sus estratos más bajos. Es la que mayor interés tiene para nosotros por ser donde se desarrolla casi toda la actividad aeronáutica.

Se extiende desde el nivel del mar

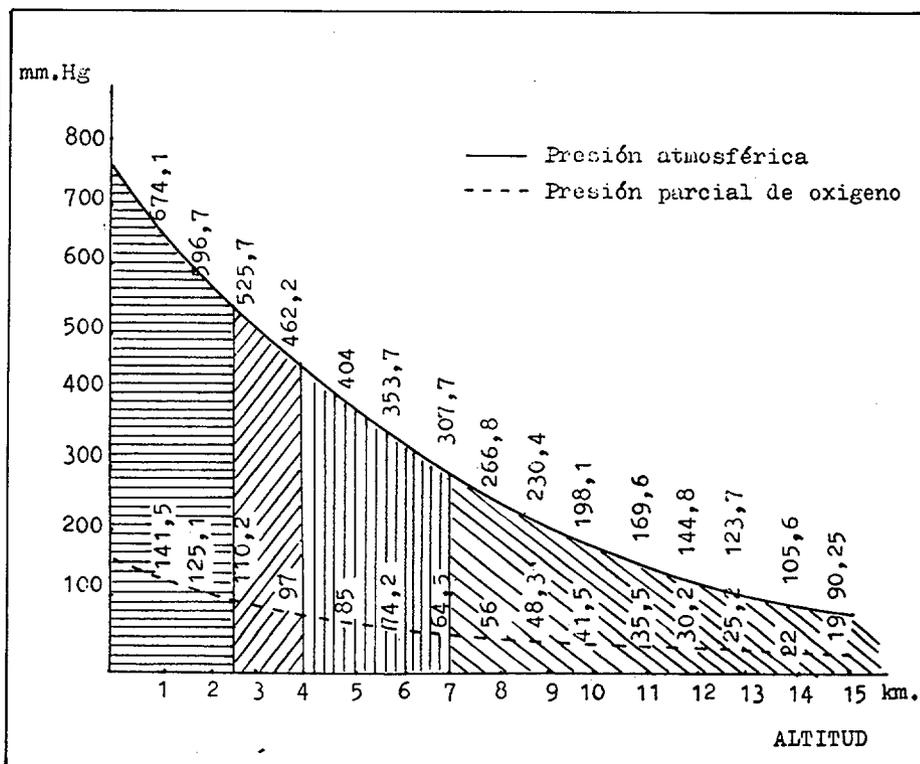


Figura 2. Variación de la Presión atmosférica y de la presión parcial de oxígeno del aire entre 0 y 15.000 m.

hasta los 9 a 20 Kms., dependiendo de la latitud.

— ESTRATOSFERA, a continuación de la anterior, se eleva hasta los 40 Kms. Mantiene una temperatura constante de  $-56^{\circ}\text{C}$  en sus niveles más inferiores. No contiene vapor de agua, por lo que no se pueden formar nubes, y existen en ella unas fuertes corrientes de desplazamiento horizontal, llamadas "jet stream". En esta capa se encuentra la conocida OZONOSFERA, o capa de ozono que se extiende entre los 40.000 y los 140.000 pies de altitud (1 metro equivale a 3 pies).

La molécula triatómica de oxígeno sólo se puede formar en aquellas regiones en que tanto la proporción de gas como la cantidad y calidad de radiación ultravioleta son las adecuadas, condiciones que se dan en esta zona. La absorción de luz ultravioleta que se realiza a este nivel impide que dicha radiación, de graves efectos biológicos, alcance capas más inferiores.

— MESOSFERA, se extiende hasta los 80 Kms. aproximadamente. En ella se alcanzan los  $75^{\circ}\text{C}$  en torno a los 52 Kms. de altitud, para descender posteriormente hasta los  $80^{\circ}\text{C}$  bajo cero, al disminuir la actividad fisicoquímica.

— TERMOsfERA, por encima de la anterior, en ella la temperatura vuelve a elevarse enormemente, de-

pendiendo de la actividad solar, sobrepasándose los  $1.500^{\circ}\text{C}$  cuando ésta es máxima, para caer a los  $230^{\circ}\text{C}$  en fases de reposo del Sol.

— EXOSFERA, constituye en realidad el inicio del "Espacio". El número de colisiones entre partículas es tan escaso que puede decirse que no existe, y la trayectoria de los átomos se puede considerar libre.

Por último se habla de IONOSFERA para referirse a la región de la atmósfera en que las partículas gaseosas se encuentran ionizadas. Su límite inferior se sitúa en torno a los 100 Kms.

## IMPORTANCIA BIOLÓGICA DE LA ATMOSFERA. INTERÉS EN FISIOLÓGIA

La composición química de la atmósfera, el grado de humedad de sus capas inferiores, el proceso de intercambio hídrico con la hidrosfera y su participación en la regulación térmica del planeta, y su actuación como filtro frente a las radiaciones que llegan del exterior, hacen que en la Tierra pueda desarrollarse la vida tal y como nosotros la conocemos.

Sin algún sistema de protección térmica, el límite de habitabilidad para el ser humano se sitúa en torno a los 1.000 m.

Por encima de los 2.500 ó 3.000 m. los mecanismos de compensación

frente a las bajas presiones parciales de oxígeno (menos de 110 mmHg) empiezan a funcionar, la presión arterial de 0 desciende por debajo de los 60 mmHg, y la saturación de hemoglobina se acerca al 85%, la hiperventilación y la taquicardia se hacen cada vez más intensas, y pueden aparecer cefaleas.

Cierta sensación de excitación, pérdida de iniciativa, y disminución de la fuerza muscular, se suman a los síntomas anteriores cuando se alcanzan los 4.000 m.

En torno a los 5.500 m. la presión alveolar (pAO<sub>2</sub>) de oxígeno no llega a los 40 mmHg, y la saturación de hemoglobina apenas al 72%, y por encima de los 7.000 en que la pAO<sub>2</sub> es de tan solo 30 mmHg y la saturación de hemoglobina del 60% la dificultad respiratoria es constante, la oxigenación de los tejidos es sumamente deficitaria, las pupilas se dilatan y reaccionan mal y la pérdida de conciencia, precedida por una tremenda astenia y la aparición de temblores es la norma, entrando a continuación en un coma hipóxico si la situación se prolonga. Sólo en casos excepcionales y tras un periodo de adaptación ha sido posible sobrevivir sin oxígeno suplementario por encima de los 8.000 m.

Por encima de los 9.000 m., los problemas derivados de las bajas presiones ambientales, independientemente del aporte de oxígeno, se ponen de manifiesto; la dilatación de los gases de cavidades semicerradas es notable, y los riesgos de aparición de enfermedad descompresiva a partir de los gases previamente disueltos en los fluidos corporales empiezan a ser importantes.

Composición del aire atmosférico:

Nitrógeno .....	78.084%
Oxígeno .....	20.946%
Argón .....	0.934%
Anhídrido carbónico .....	0.030%
Neón .....	1.818 × 10 <sup>3</sup>
Helio .....	5.24 × 10 <sup>4</sup>
Hidrógeno .....	5.0 × 10 <sup>4</sup>
Xenon .....	8.7 × 10 <sup>4</sup>
Kripton .....	1.14 × 10 <sup>4</sup>
Ozono .....	10 <sup>4</sup>
Metano .....	1.5 × 10 <sup>4</sup>
Radón .....	6.0 × 10 <sup>10</sup>

Tabla I

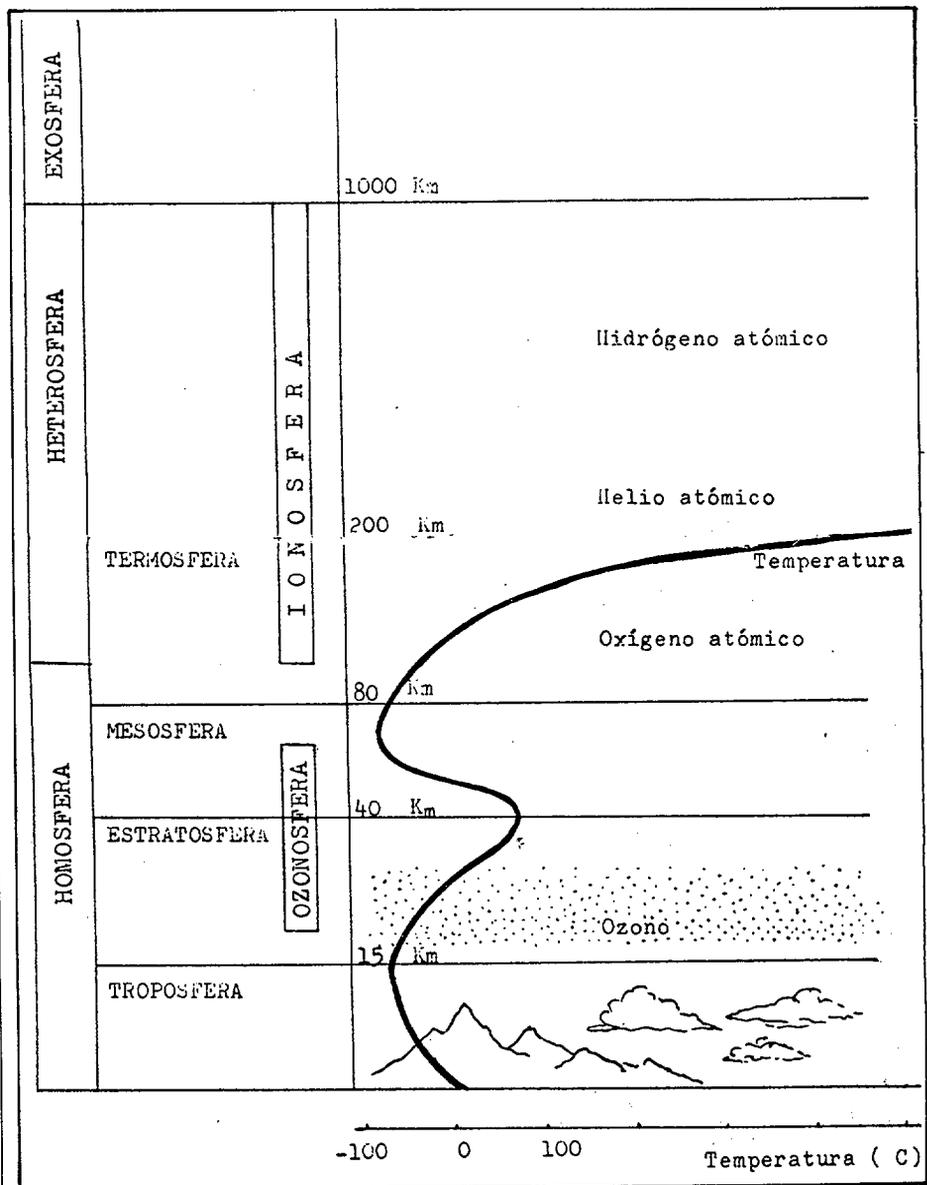


Figura 3. Se representan las distintas capas de la atmósfera y la variación de la temperatura en ellas. Distancia desde el nivel del mar expresada en kilómetros.

En el límite superior de la troposfera, la presión barométrica es de tan sólo 87 mmHg, por lo que el intercambio gaseoso, incluso respirando oxígeno puro, se ve imposibilitado, al estar los alveolos pulmonares ocupados por vapor de agua y anhídrido carbónico.

A 19 Kms., ya en la estratosfera, el agua se evapora a 37° C lo que implica que, sin un habitáculo especial, nuestra sangre comenzaría a ebullicir.

Por último a 25 Kms. la densidad del aire es tan pequeña que los sistemas de presurización de cabinas a partir del medio atmosférico se hacen inviables, precisándose sistemas cerrados como los utilizados en las naves espaciales.

Como decía al principio, en artículos posteriores se irá comentando como se ve afectado el ser humano que se expone a este medio, y como se han ido resolviendo los diferentes problemas aparecidos.

BIBLIOGRAFIA

- GODOY, R.M. y WALKER, J.C.G.: "Las Atmósferas", Ed. Omega. Barcelona, 1975.
- STRUMZA, M.V.: "Medicine Aérospatiale", Ed. Médicales Universitaires. Paris, 1973.
- DEHNIN, G.: "Aviation Medicine", Ed. Tri-Med. Londres, 1978.
- EVRARD, E.: "Précis de Médecine Aéronautique et spatiale", Ed. Maloine. Paris, 1975.
- DEHART, R.L.: "Fundamentals of Aerospace Medicine", Ed. Lea Febiger. Filadelfia, 1985.
- ERNSTING, J. y KING, P.: "Aviation Medicine", Ed. Butterworths. Londres, 1988.