

El medio ambiente aeronáutico

CARLOS VELASCO DIAZ,
Capitán Médico
JOSE B. DEL VALLE GARRIDO,
Capitán Médico

Una suave sensación de dejadez me fue invadiendo; notaba ligeros hormigueos en los dedos de ambas manos y oleadas de calor y frío recorrían mi cuerpo; me costaba trabajo centrarme en el sencillo test que estaba realizando e incluso me resultaba difícil distinguir con claridad las letras y números que tenía en el papel situado frente a mí, pero me encontraba a gusto, a pesar de la discreta sensación de mareo que me envolvía. Estaba en la Cámara de Baja Presión del C.I.M.A., realizando una sesión de Entrenamiento Fisiológico y llevaba 4 minutos desconectado de mi equipo de oxígeno, a 25.000 pies de altitud, lo cual quería decir que la presión parcial de oxígeno (pAO_2) en el interior de mis alveolos pulmonares era de unos 30 mmHg y cuando el organismo de uno está acostumbrado a tener en sus pulmones una pAO_2 de 103 mmHg, esa diferencia se tiene que notar de alguna manera. Me volví a colocar la mascarilla y el mundo cambió para mí: veía mejor, coordinaba mejor, la sensación de hormigueo fue desapareciendo, lo mismo que el mareo, y pude ver hasta qué extremo, mi letra, habitualmente fea, había empeorado durante la prueba de hipoxia, reflejando el estado de mi Sistema Nervioso Central. Era evidente que la "altitud" a la que nos encontrábamos no era la idónea para escribir una tesis doctoral".

El hombre está capacitado para desarrollar su actividad en unas determinadas condiciones de presión y temperatura, en

un ambiente que coincide con el que se da en la superficie de nuestro planeta, desde el nivel del mar hasta una altura de 2.500 a 3.000 m. Una pequeñísima proporción del género humano es capaz de vivir por encima de esas altitudes, y ello a costa de interesantes modificaciones en su fisiología que le permiten "adaptarse" a esas condiciones, y desde luego nadie es capaz de permanecer vivo durante periodos prolongados de tiempo por encima de los 5.000 m. Esa región del planeta en que el hombre y los demás seres viven se conoce con el nombre de biosfera, y comprende parte de la litosfera, de la hidrosfera y también una porción de la atmósfera.

Entendemos por atmósfera la masa gaseosa que rodea un planeta. El papel que la atmósfera terrestre desempeña en el mantenimiento de la vida en la Tierra es fundamental: proporciona el oxígeno necesario para que los procesos biológicos tengan lugar, mantiene y regula un ambiente térmico y de humedad adecuado para que se produzcan las diversas reacciones bioquímicas precisas para la vida, y actúa como barrera frente a las radiaciones cósmicas. Pero tales condiciones de habitabilidad sólo se dan en las capas más bajas de la atmósfera, el resto del manto gaseoso que nos envuelve está actuando como escudo para mantener esas condiciones.

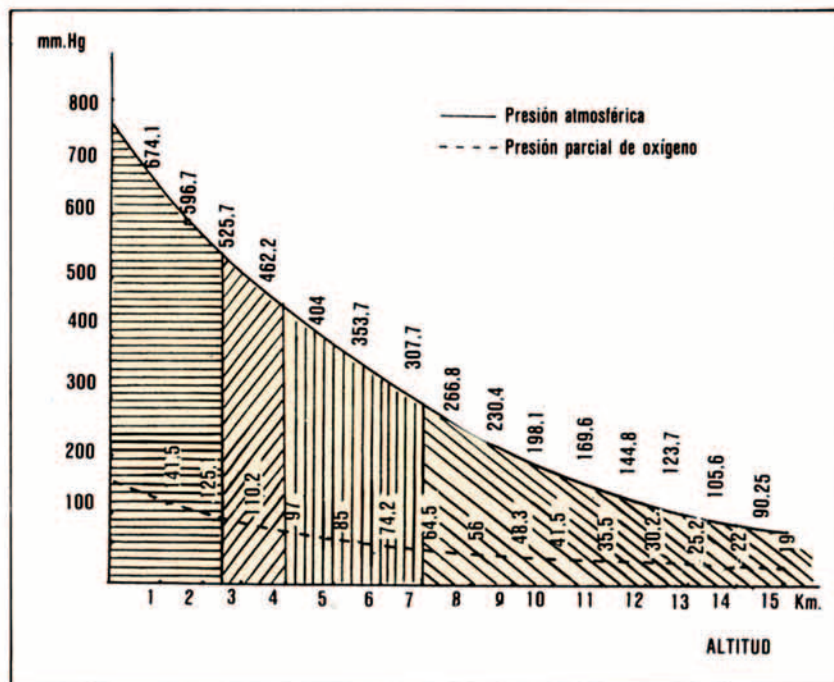


Figura 1. Variación de la Presión atmosférica y de la presión parcial de oxígeno del aire entre 0 y 15.000 m.

Durante milenios el hombre vivió pegado al suelo, pero un buen día consiguió hacer realidad uno de sus sueños más antiguos: volar. Entonces comenzó a enfrentarse con nuevos problemas que era preciso resolver, y lo primero que tenía que hacer era conocer las características fisicoquímicas del nuevo medio que pensaba conquistar.

CARACTERÍSTICAS DE LA ATMÓSFERA

La cantidad de masa gaseosa que envuelve un planeta depende de dos factores:

1. La radiación térmica que llega del sol (en nuestro Sistema, o su equivalente en otro) que al calentar la atmósfera favorece la expansión de los gases que tienden entonces a escapar al "vacío espacial".

2. La fuerza de atracción gravitacional del planeta, que tiende a mantener en torno suyo a las moléculas que componen su atmósfera.

Del equilibrio de esas tensiones opuestas dependerá que el espesor de la atmósfera sea mayor o menor.

Se considera que la masa total de la atmósfera terrestre es de 5.29×10^{21} grs., y aunque la fuerza de atracción gravitacional sigue siendo considerable a altitudes superiores a los 1.000 Kms., se acepta generalmente como límite superior de nuestra atmósfera los 700 Kms. de altitud.

Tanto la densidad como la presión de la masa gaseosa que nos rodea disminuye conforme nos separamos del nivel del mar (fig. 1), de tal forma que entre 5,5 y 6 Km. se reducen a la mitad, y a 1/4 en torno a los 11 Km.

La temperatura varía notablemente con la altitud, pero además depende de otros factores tales como la situación geo-

gráfica y la época del año. En la troposfera, capa inferior de la atmósfera, se produce un descenso con la altitud de 5 a 10°C por cada 1.000 m., de tal forma

cas de alta energía: protones, partículas alfa y núcleos de átomos más pesados, que provienen del sol (radiación solar) o de otras estrellas (radiación ga-



La atmósfera confiere a la Tierra el apelativo de "planeta azul".

que en las regiones más bajas de la siguiente capa, la estratosfera, se alcanza una temperatura constante de -56°C, sin embargo, como se ve en la figura 2 dicha temperatura vuelve a ascender posteriormente debido a las reacciones fisicoquímicas que tienen lugar en esas regiones.

En cuanto al grado de ionización de nuestro entorno hay que tener en cuenta que la Tierra es "bombardeada" continuamente desde el espacio exterior por partículas subatómi-

láctica). Dichas partículas chocan con los átomos de nuestra envoltura gaseosa produciéndose una radiación secundaria, considerablemente menor, que penetra en capas más bajas y, aunque algunas alcanzan la superficie del planeta, su poder de ionización es reducido por las capas superiores y disminuye enormemente por debajo de los 50.000 pies.

En lo que se refiere a la composición química de nuestra atmósfera sabemos que consiste en una mezcla de nitrógeno, oxígeno y argón, junto a pequeñas cantidades de anhídrido carbónico y otros gases (Tabla I). La proporción de la mezcla se mantiene constante hasta los 300.000 pies de altitud, por encima la ionización de las moléculas al chocar con la radiación externa, y el dife-

rente peso atómico de los distintos elementos hacen que la distribución de los diversos gases varíe, y así en las capas más externas, sólo podremos encontrar escasas partículas de hidrógeno ionizado describiendo enormes órbitas alrededor del planeta (fig. 2)

Hasta los 30.000 pies de altitud, la cantidad de vapor de agua es significativa, aunque muy variable según las áreas geográficas y la temperatura.

En la práctica, a lo largo de toda la troposfera y estratosfera, las capas que evidentemente nos interesan más desde el punto de vista médico-aeronáutico, ya que es donde se realiza la actividad aeronáutica, podemos decir que la composición es de 78% de nitrógeno y 21% de oxígeno.

Sin embargo, todo esto no implica que nuestra atmósfera haya sido siempre así, son variadas y muy interesantes las teorías que explican la evolución de nuestro manto gaseoso, pero no tenemos aquí espacio para entrar en ellas.

CAPAS DE LA ATMOSFERA

Atendiendo a las características propias de las diferentes regiones de la atmósfera se divide clásicamente en varias capas (fig. 2):

- Homosfera: desde el nivel del mar hasta unos 200 Kms.
- Heterosfera: a continuación de la anterior.
- Exosfera: que se pierde en el vacío espacial.

A su vez la homosfera se subdivide en cuatro subcapas:

- Troposfera:** desde el nivel del mar hasta una altitud variable, que oscila entre los 9 Km. en los polos y los 20 Km. en el Ecuador, con una media de 15 Km. La diferencia de espesor se debe a la variación térmica de

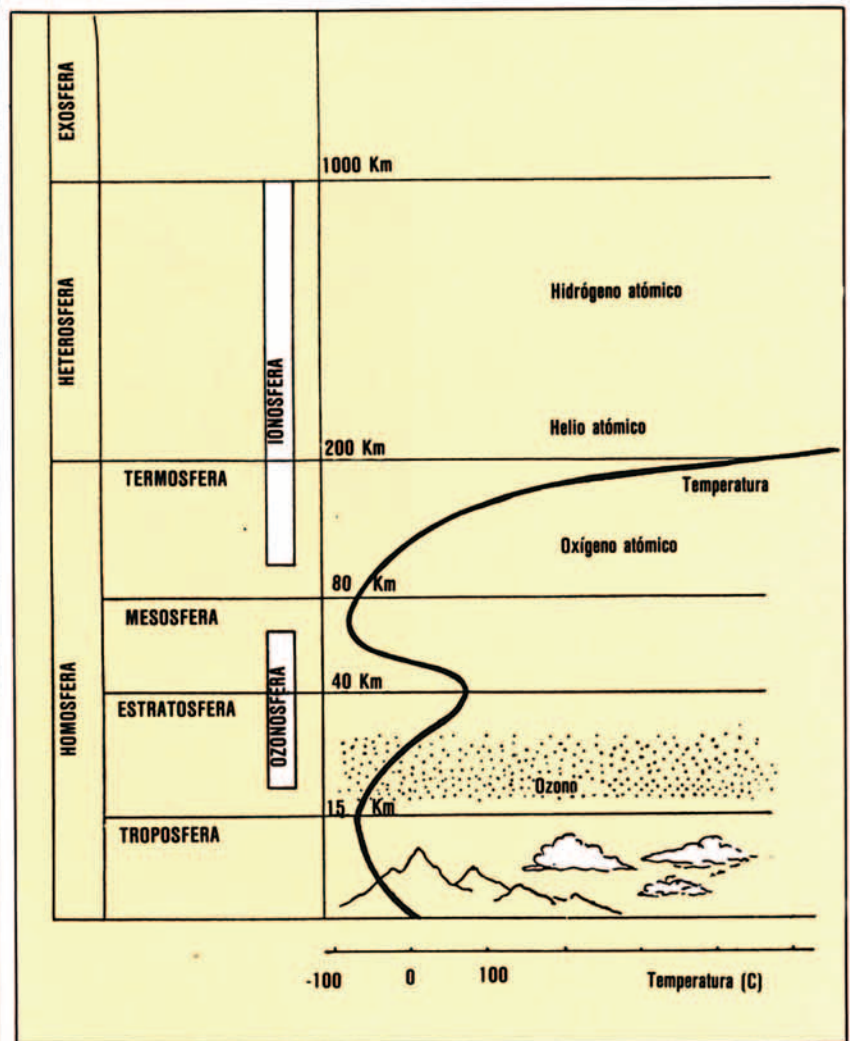


Figura 2. Se representan las distintas capas de la atmósfera y la variación de la temperatura en ellas. Distancia desde el nivel del mar expresada en Kilómetros.

las distintas regiones del Globo.

Se caracteriza por la constancia de la composición química de la mezcla gaseosa, y por la existencia de vapor de agua, corrientes de aire y formación de nubes. Es aquí donde se producen los fenómenos climáticos, y es en la única capa en que puede desarrollarse la vida sin necesidad de un soporte externo, y éste sólo en las regiones más bajas.

- Estratosfera:** a continuación de la anterior, se extiende hasta una altitud de unos 40 Km. Mantiene en sus estratos más inferiores una temperatura constante de 56 grados bajo

cero. No contiene vapor de agua y por lo tanto no se pueden formar nubes, pero sí existen unas fuertes corrientes de aire de desplazamiento horizontal conocidas como "jet streams".

La característica fundamental de esta capa es la de incluir la Ozonosfera, región rica en ozono (O_3), que se extiende entre los 40.000 y los 140.000 pies. La molécula triatómica de oxígeno, es decir el ozono, sólo se puede producir en aquellas regiones en las que tanto la proporción del gas como la cantidad y longitud de onda de la radiación ultravioleta que recibe son las adecuadas. Tales condiciones

MEDICINA AEROESPACIAL

se dan en esta zona de la atmósfera, y la concentración de O_3 puede sobrepasar las 10ppm (partes por millón) letal para el ser humano, mientras que al nivel del mar no llega a 0.03 ppm. El O_3 es un gas tóxico con importantes efectos sobre tracto respiratorio, aparato de la visión e incluso a nivel cromosómico, pero gracias a su capacidad de absorción de radiaciones actúa como pantalla protectora, evitándonos a los que vivimos debajo los terribles efectos que las radiaciones galácticas y solares nos causarían si llegaran hasta nosotros.

3. Mesosfera: capa siguiente, que se extiende hasta los 80 Km. y en la que las temperaturas, que ya habían comenzado a ascender en la ozonfera como consecuencia de las reacciones fisicoquímicas que en ella tienen lugar, continúan elevándose, alcanzando una máxima de $75^\circ C$ en torno a los 52 Km. y descendiendo posteriormente y de forma brusca a $80^\circ C$ bajo cero.

4. Termosfera: se extiende hasta el límite con la heterosfera. De nuevo importantes reacciones tienen lugar en esta capa, donde los elementos se empiezan a encontrar en estado atómico

TABLA I	
Composición del aire atmosférico:	
Nitrógeno	78.084 %
Oxígeno	20.946 %
Argón	0.934 %
Anhidrido carbónico	0.030 %
Neón	1.818×10^{-3}
Helio	5.24×10^{-4}
Hidrógeno	5.0×10^{-5}
Xenon	8.7×10^{-6}
Kriptón	1.14×10^{-6}
Ozono	10^{-8}
Metano	1.5×10^{-8}
Radon	6.0×10^{-10}

mic y en forma ionizada. Las temperaturas llegan a exceder los $1.500^\circ C$ y el nivel de ionización los 100.000 electrones libres por centímetro cúbico.

Esta región en la que los gases se encuentran ionizados se conoce con el nombre de Ionosfera y tiene su límite inferior a los 120 Km.

IMPORTANCIA BIOLÓGICA DE LA ATMÓSFERA TERRESTRE

Como se decía al comienzo de este capítulo, la atmósfera terrestre es fundamental para la

vida en nuestro planeta. Sólo en las regiones más inferiores de la troposfera puede desarrollarse.

Sin algún tipo de protección térmica el límite de habitabilidad para el ser humano se situaría en torno a los 1.000 m.; sin oxígeno suplementario la "biosfera respiratoria" queda por debajo de las máximas alturas terrestres (Everest, 8.848 m.), y sin algún sistema de presurización, incluso respirando oxígeno al 100%, el límite de vida estaría alrededor de los 12 Km. de altitud.

Gracias al "filtro" atmosférico únicamente la radiación luminosa, los rayos ultravioletas de larga longitud de onda, algunos infrarrojos y muy pocos cósmicos llegan hasta nosotros.

Por otro lado, el intercambio hídrico entre la atmósfera y la hidrosfera mantiene el adecuado grado de humedad y colabora en la regulación térmica del planeta. Los ciclos del oxígeno y del dióxido de carbono, relacionados a través de la actividad fotosintética del mundo vegetal, mantienen un equilibrio que permite el desarrollo de la vida.

Desde el punto de vista de la fisiología humana, hasta los 2.500 ó 3.000 m. no aparecen

TEST

CAPITULO 2

(Soluciones Última Página)

1. Relacione las partículas subatómicas de alta energía con la proporción en que Vd. cree que llegan a la Tierra:

- | | |
|-------------------------------|----------|
| a). Protones | 1). 1 % |
| b). Partículas alfa | 2). 79 % |
| c). Núcleos de átomos pesados | 3). 20 % |

2. ¿Cuál de las siguientes características cree Vd. que no se cumple en la Troposfera?

- a). La proporción de gases se mantiene constante

- b). Hay una disminución progresiva de la tensión de vapor de agua
- c). Existen corrientes de aire y formación de nubes
- d). La temperatura se mantiene constante.

3. Tanto la superficie de la Tierra como su atmósfera se calientan por la radiación solar que reciben. Una parte de esta energía es absorbida por la propia atmósfera, otra parte lo es por la superficie de la Tierra y otra es devuelta nuevamente al espacio

¿sabe Vd. qué porcentaje de radiación es devuelto al exterior?

- | | |
|----------|----------|
| a). 12 % | b). 35 % |
| c). 42 % | d). 73 % |

4. La distensión de los gases que se encuentran encerrados en las cavidades del organismo se produce como consecuencia de la disminución de la presión barométrica. ¿Recuerda Vd. en virtud de qué ley física del comportamiento de los gases se produce este fenómeno?

- a). Ley de Henry
b). Ley de Boyle-Mariotte
c). Ley de Charles
d). Ley de Graham

alteraciones debidas a la altura: es por encima de esa altitud cuando se hace presente cierta dificultad respiratoria, que los médicos llamamos hiperventilación disneica, y aumento del número de latidos por minuto (taquicardia).

A lo anterior, que naturalmente se incrementa en grado, se suman cierta sensación de excitación, pérdida de iniciativa, disminución de la fuerza muscular y dolor de cabeza en las regiones superiores a los 4.000 m.

A los 6.000 m. la distensión de los gases atrapados en las cavidades cerradas o semicerradas del organismo se hace manifiesta, y por encima de los 7.000 m. la dificultad respiratoria se hace constante, las pupilas se dilatan y reaccionan mal, y la pérdida de conciencia, precedida de pérdida total de la fuerza muscular y aparición de temblores, es la norma, entrando a continuación en coma hipóxico si esta situación se prolonga. Sólo en casos excepcionales y tras un periodo más o menos largo pero imprescindible, de acondicionamiento o aclimatación se ha conseguido sobrevivir sin oxígeno suplementario por encima de los 8.000 m.

Por encima de los 9.000 m. puede aparecer la enfermedad descompresiva, alteración que consiste en la formación de burbujas en los fluidos corporales, producida por la disminución de la presión barométrica, independientemente de la concentración de oxígeno en el mismo.

En el límite superior de la troposfera (15 Km.) la presión barométrica es de tan sólo 87 mmHg. y el intercambio gaseoso, incluso respirando oxígeno puro, se ve imposibilitado al estar los alveolos pulmonares ocupados por el dióxido de carbono producido en el metabolismo humano, que es eliminado

por vía respiratoria y alcanza una presión parcial de 40 mmHg, y por vapor de agua, que a los 37°C de temperatura corporal presentan una tensión a nivel pulmonar de 47 mmHg., la suma de ambas presiones parciales alcanza los 87 mmHg siendo necesario para realizar una respiración efectiva recurrir a la ventilación a presión positiva. A estas altitudes, los sistemas de presurización se hacen imprescindibles.

A 19.000 m. el agua se evapora a 37°C lo que equivale a decir que nuestra sangre comenzaría a ebullición sin un habitáculo especial.

A 25 Km. la densidad del aire es tan pequeña que la presurización de las cabinas a partir del medio atmosférico se hace inviable, precisándose sistemas cerrados o sellados.

A altitudes superiores, la cantidad de radiación aumenta considerablemente, y a 120 Km., en el comienzo de la Ionosfera, la densidad del aire es tan pequeña que ni siquiera los meteoritos pequeños son rechazados.

A modo de resumen podríamos finalizar diciendo que desde un punto de vista fisiopatológico se puede dividir la atmósfera en 4 niveles:

A). Hasta los 2.500-3.000 m., en que la vida se puede desarrollar con normalidad. Llamamos a esta capa "zona indiferente".

B). Hasta los 4.000 m., es una región compatible con la vida, pero en la que se desarrollan alteraciones fisiológicas que tratan de alcanzar una adaptación del sujeto al medio.

C). Hasta los 7.000 m., zona en que se producen grandes alteraciones fisiopatológicas en el organismo de todos los sujetos y sólo soportables durante cortos períodos de tiempo, salvo excepciones por aclimatación.

D). Por encima de los 7.000 m.: zona incompatible con la vida. ■

NOTICIAS

I JORNADAS DE MEDICINA DEL TRABAJO Y SALUD LABORAL EN CANTABRIA

— Los días 26, 27 y 28 de abril tendrá lugar en Santander la celebración de las "I Jornadas de Medicina del Trabajo y Salud Laboral en Cantabria", organizadas por la Delegación de Cantabria de la Asociación Española de Especialistas en Medicina del Trabajo, en el Paraninfo del Palacio de la Magdalena, siendo las plazas limitadas. Para mayor información llamar al Dr. Pérez Bouzo, de 16 a 19 horas al teléfono 942-31.31.10.

PREMIO DE INVESTIGACION DEL GOMEZ ULLA

— El trabajo titulado "Tratamiento biológico de los gliomas malignos cerebrales por medio de células linfoides activadas con alfa-interferón", en el que ha colaborado el Cap. Médico Don Santiago Coca Menchero del Servicio de Anatomía Patológica del Hospital del Aire, ha obtenido el Premio de Investigación del Hospital Gómez Ulla en la V Reunión de Investigación organizada por el mismo hospital el pasado mes de noviembre.

XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MEDICINA Y FARMACIA MILITARES

— Durante los días 22 al 28 del próximo mes de abril se celebrará en Madrid, Palacio de Congresos y Exposiciones, el XXVIII Congreso Internacional de Medicina y Farmacia Militares. El Congreso incluye cinco ponencias (Traumatismos craneoencefálicos, SIDA en el seno de las FAS, prevención del suicidio, higiene del agua en campaña y evacuación sanitaria) y tres mesas redondas (microbiología de los alimentos, política antibiótica y acostumbamiento a drogas). Para más información dirigirse a la Secretaría del CIMFM, Joaquín María López 61, 28015 Madrid, Tel. (91) 243.94.00 - Ext. 245, Fax (91) 544.79.66.