

GF 3003 Introducción a las Ciencias Atmosféricas

Control 1 SP 2010

Profesora de Cátedra: Laura Gallardo

Profesoras Auxiliares: Constanza Maturana, Constanza Paredes, Lucía Scaff

Septiembre 9 de 2010

Tiempo máximo disponible: 2.0 horas (120 minutos).

Sé muy clar@ y explícit@ en tus respuestas. En los resultados numéricos considera el número correcto de cifras significativas.

1. Conceptos

- a) Identifica dos subsistemas del sistema climático terrestre e indica brevemente interacciones entre ellos (procesos que los acoplan)[1 punto]

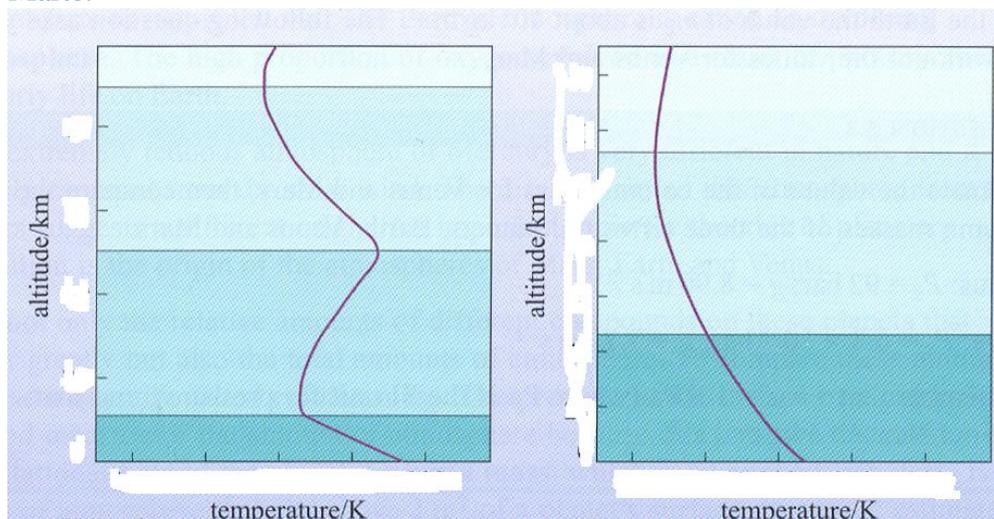
Entre otros se puede mencionar la hidrósfera y la atmósfera. Interacciones entre la Atmósfera y la Hidrósfera: intercambio de agua a través de evaporación y precipitación o intercambio de gases, por ejemplo, dióxido de carbono, entre la atmósfera y el mar.

- b) El agua absorbe y emite radiación infrarroja en cualquiera de sus estados de agregación (hielo, agua líquida, vapor). Usa este hecho para explicar por qué las noches calmas despejadas son más frías que las noches calmas cubiertas.[1 punto]

En una noche cubierta la capa de nubosidad absorbe parte de la radiación de onda larga (OL) emitida por la superficie es capturada y re-emitada en todas las direcciones por la nubosidad, devolviendo energía a la superficie y calentándola.

- c) Indica con un esquema simple (dibujo) de qué manera cambiaría el perfil vertical típico de temperatura de la atmósfera terrestre si no tuviera ozono.[1 punto]

Desaparecería la capa estable asociada a la estratósfera. El perfil se parecería al de Marte.



Seguramente habría otros cambios pues llegaría más energía a la superficie induciendo, entre otros, cambios en la circulación y la estabilidad.

- d) Ordena, de mayor a menor, las abundancias de las siguientes moléculas en la homósfera terrestre: argón (Ar), metano (CH₄), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de carbono (CO₂).[1 punto]

Ar, CO₂, CH₄, SO₂

- e) ¿Cuáles son las dos principales forzantes externas del sistema climático terrestre? [1 punto]

La energía recibida del sol y el efecto de reflexión de energía radiante por efecto de aerosoles sulfato (capa de Junge) derivados de la actividad volcánica

- f) Nombra y describe brevemente dos factores orbitales que cambian la cantidad de energía recibida por el sistema terrestre. [1 punto]

Excentricidad de la órbita: Modula la razón entre la distancia al sol en el perihelio y el afelio, a mayor excentricidad de a órbita más cerca se está del sol en el perihelio y más lejos en el afelio.

Dirección del eje de rotación de la tierra (precesión de los equinoccios): Este factor consiste en la rotación del eje (manteniendo su inclinación con respecto al plano de la órbita elíptica) de rotación de la tierra, de modo que si al principio del ciclo un hemisferio tenía equinoccio de primavera en una fecha dada, a mitad del ciclo tendrá equinoccio de otoño en la misma fecha.

Inclinación del eje de rotación de la tierra (tilt): Ángulo de inclinación del eje de rotación de la tierra con respecto al plano de la órbita. Si este valor es pequeño, existe poca diferencia de temperatura entre los dos hemisferios que están en verano e invierno, si es mayor la diferencia de temperatura entre el hemisferio en verano y el hemisferio en invierno es mayor.

NB. Las explicaciones deben ser breves, esto es, de dos a tres renglones.

2. Capas atmosféricas

La presión y temperatura atmosféricas cambian con la altura entre la superficie y 80 km aproximadamente de acuerdo a la figura que aparece más adelante.

- a) A partir de la figura, estima la relación existente entre el logaritmo natural de la presión (p) y la altitud (z). O sea, estima los parámetros de la ecuación:

$$z - z_0 = -H \ln \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

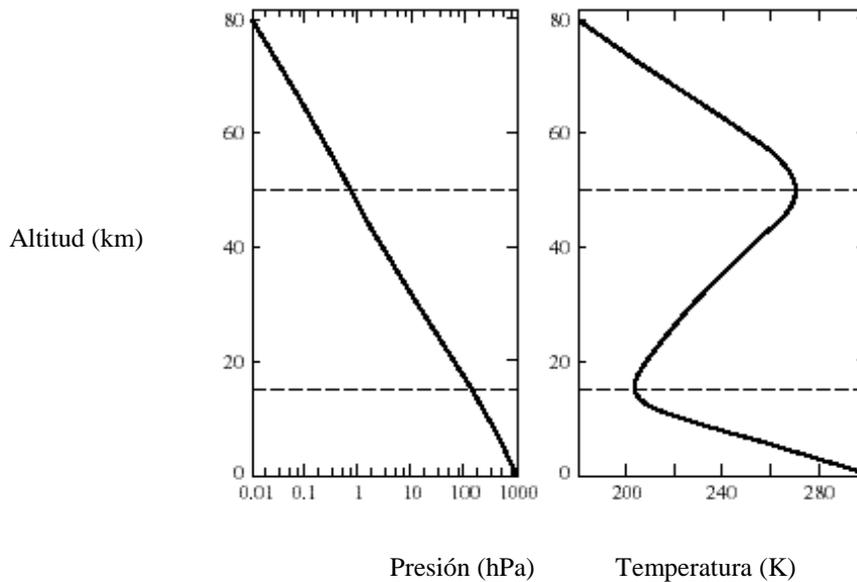
[1 punto]

- b) ¿Cuál es la razón entre la temperatura mínima y máxima según la figura? ¿Cómo es la razón entre las presiones correspondientes?[1/2 punto]

- c) Si tus estimaciones en (a) están correctas, debieras encontrar que la presión decae exponencialmente con la altitud y con una **escala de altura** H , correspondiente a una atmósfera isotérmica de aproximadamente 250 K. ¿Cómo se explica que ésta sea una buena aproximación para la variación de la presión con la altura si la temperatura muestra variaciones como las indicadas en la figura considerando que se satisface la ley de gases ideales ($p = \rho RT$)? Usa los resultados encontrados en (b).[2 puntos]

- d) ¿Qué fracción de la masa atmosférica está contenida en la tropósfera según la figura? ¿Cuál es la fracción contenida en la mesósfera?[2 puntos]

- e) ¿Cómo varía la densidad con la altura para esta atmósfera? (Escribe una ecuación o dibújala de acuerdo a la figura de la pregunta)[1/2 punto]



Respuesta:

- a) Por el gráfico de $\ln(p)$ v/s Altitud, vemos que H es la pendiente (positiva),

$$H = -\frac{80000 - 0}{\ln(1) - \ln(100000)} = 6950$$

$$z_0 = 0 \text{ y } p_0 = 1000 \text{ hPa}$$

- b) La razón entre las temperaturas mínima y máxima es:

$$\frac{T_{\text{mín}}}{T_{\text{máx}}} = \frac{180}{300} = 0.6$$

La razón entre las presiones correspondientes:

$$\frac{P_{\text{mín}}}{P_{\text{máx}}} = \frac{0.01}{1000} = 0.00001$$

- c) Esta aproximación es buena, pues el cambio de presión es muchísimo mayor (5 órdenes de magnitud) que el cambio de temperatura, por lo tanto, si se aproxima la relación de presión/altura a una atmósfera con temperatura constante, el error es aceptable.

La ecuación de gases ideales, relaciona p , ρ y T , por lo tanto si T es constante con la altura, se tendrá que el cambio de la densidad seguirá la misma forma que el cambio en la presión.

- d) Considerando que la tropósfera llega hasta los 12 km, se utiliza la ecuación anterior:

$$z - z_0 = H \ln \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

$$12000 = -7000 \ln \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

$$\frac{p}{p_0} = 0.18$$

$$\rightarrow p = 0.18 * p_0$$

Como p es aproximadamente el 20% de la presión superficial, se tiene el 80% de la masa atmosférica en la tropósfera.

La mesósfera es la última fracción mostrada en los gráficos. Es decir, entre 50 y 80 kms de altitud.

Entonces utilizando nuevamente la ecuación para los dos niveles,

$$z - z_0 = H \ln \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

$$80000 = -7000 \ln \left(\frac{p_{80km}}{p_0} \right)$$

$$\frac{p_{80km}}{p_0} = 0.000011$$

$$\rightarrow p_{80km} = 1.1 * 10^{-5} * p_0$$

$$z - z_0 = H \ln \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

$$50000 = -7000 \ln \left(\frac{p_{50km}}{p_0} \right)$$

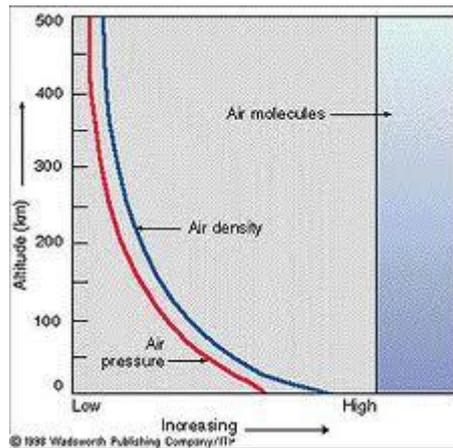
$$\frac{p_{50km}}{p_0} = 0.0008$$

$$\rightarrow p_{50km} = 8 * 10^{-4} * p_0$$

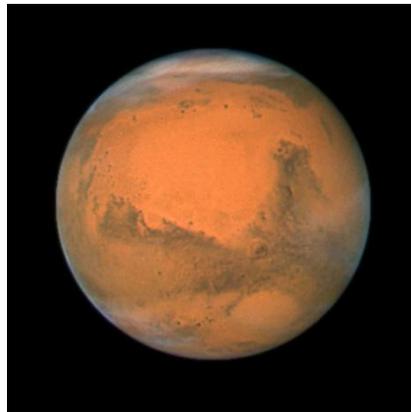
Como p_{80km} es aproximadamente el 0.0011% de la presión superficial, se tiene el 99.999% de la masa atmosférica. Y para p_{50km} es el 0.079% de p_0 , la masa es el 99.92%.

En definitiva el porcentaje de masa en la mesósfera es 0.079% (la diferencia entre 99.999 y 99.92).

- e) Por la ecuación de gases ideales, la densidad varía casi igual que la presión en la altura, pues la temperatura se puede aproximar constante. Esto se vio en la siguiente figura de cátedra.



3. Efecto invernadero en Marte



Marte tiene una atmósfera muy rica en dióxido de carbono (CO_2 , 95% en volumen). Su distancia al sol es 1.5 veces la terrestre. De la energía recibida al tope de la atmósfera de Marte un 25% es reflejado (su albedo es 0.25).

- Calcula la “constante solar” marciana sabiendo que la “constante solar” terrestre es $S=1368 \text{ W/m}^2$. Supón órbitas circulares y concéntricas. [2 puntos]
- Haciendo un balance de energía simple, encuentra una expresión para la temperatura de Marte si no tuviera atmósfera. Supón que la radiación solar calienta la superficie marciana dando lugar a emisión térmica. [1 punto]
- Estima qué fracción de la radiación infrarroja emitida por Marte debe ser capturada por la atmósfera si la temperatura superficial observada es de -50°C y la temperatura radiativa correspondiente al balance sin atmósfera es de -55°C . [3 puntos]

Respuesta:

- Sabemos que la constante solar para la tierra se calcula de la siguiente forma:

$$CS_T = \frac{4\pi R_S^2 \sigma T_S^4}{4\pi D_{T-S}^2} = 1368 \text{ W/m}^2$$

Realizando lo mismo para la constante solar para Marte:

$$CS_M = \frac{4\pi R_S^2 \sigma T_S^4}{4\pi D_{M-S}^2}$$

Dividiendo ambas ecuaciones obtenemos:

$$\frac{CS_T}{CS_M} = \frac{D_{M-S}^2}{D_{T-S}^2}$$

Finalmente, usando los datos del problema tenemos:

$$CS_M = 1368 \frac{D_{T-S}^2}{(1.5 D_{T-S})^2} = 608 \text{ W/m}^2$$

b) Haremos el siguiente balance radiativo:

$$E_{entra} = E_{sale}$$

Sabemos que la energía recibida por Marte es

$$E_{entra} = CS_M(1 - \alpha)\pi R_M^2$$

Y la energía que emite Marte es:

$$E_{sale} = \sigma T^4 4\pi R_M^2$$

Juntando las tres ecuaciones obtenemos:

$$T = \sqrt[4]{\frac{CS_M(1 - \alpha)}{4\sigma}} = 212^\circ K$$

c) Queremos saber qué porcentaje x de la radiación emitida es atrapada por el efecto invernadero. Para esto sabemos que la temperatura observada es de $T_1 = -50^\circ C$, lo que corresponde a la temperatura como la atmósfera y que la temperatura sin atmósfera es de $T_2 = -55^\circ C$.

Realizamos 2 balances, uno con atmosfera y el otro sin, esto es:

$$CS_M(1 - \alpha)\pi R_M^2 = \sigma T_2^4 4\pi R_M^2(1 - x) \quad \text{con atmósfera}$$

$$CS_M(1 - \alpha)\pi R_M^2 = \sigma T_1^4 4\pi R_M^2 \quad \text{sin atmósfera}$$

Dividiendo ambas ecuaciones obtenemos:

$$x = 1 - \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^4 = 32\%$$