

## **Modelo Hidrostático de Atmósfera en Mesoescala**

Lic. Erith Muñoz<sup>1,3</sup> y Dr. Nelson Falcón<sup>1,2</sup>

<sup>(1)</sup>Grupo de Física Teórica y Astrofísica. Dpto. de Física. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología. Universidad de Carabobo. Valencia Venezuela. Email: <sup>(2)</sup>nelsonfalconv@gmail.com. , <sup>(3)</sup>erith7@gmail.com

**Resumen:** Se modela la estratificación en mesoescala de atmósferas planetarias a partir de los criterios de estabilidad hidrodinámica y térmica de parcelas de fluido sometido a gradientes de presión y temperatura. Las expresiones linealizadas en primer orden, permiten conocer la altura alcanzada por una burbuja característica con movimiento convectivo en un medio atmosférico, y concuerdan con la fenomenología global observada en los sistemas climáticos de Marte, Venus y la Tierra. Los resultados obtenidos para la ascensión de burbujas en atmósferas planetarias son alentadores, ya que dadas las densidades de sistemas nubosos planetarios, se tienen aplicaciones que permiten inferir matemáticamente sobre evoluciones atmosféricas en un microclima planetario particular. **Palabras Claves:** Atmósferas Planetarias: Estabilidad Dinámica, Modelos de mesoescala.

### **HIDROSTATIC MODEL OF MESOESCALAR ATMOSPHERE**

**Abstract:** We present a mesoscale models of planetary atmospheres from the stability criteria hydrodynamic and thermal fluid plots subjected to pressure and temperature gradients. Expressions linearized first order, we can detect the height attained by a globule feature by convective motion in an atmospheric environment, and agree with the phenomena observed in the global climate system of Mars, Venus and Earth. The results for the ascension of globules in planetary atmospheres are encouraging, given that the cloud densities planetary systems, which allow applications are mathematically infer atmospheric

changes on a planetary microclimate. Key Words: Planetary Atmospheres: Dynamic Stability, mesoscale models.

## 2. Ascenso de una burbuja de aire a partir del criterio de estabilidad mecánico-térmico.

La ecuación de estado en su forma diferencial fue empleada con anterioridad para formular el equilibrio termodinámico, además introduciendo el equilibrio hidrostático se obtuvo criterios concisos de estabilidad en términos del empuje hidrostático por unidad de masa (Véase la sección anterior de Quintero & Falcón). Considerando entonces, una burbuja de aire que asciende en un medio atmosférico y asumiendo que su composición química es similar al medio se tiene del criterio de estabilidad, mediante la ecuación 9 (Véase la sección anterior de Quintero & Falcón):

$$\alpha \frac{(p' - p)}{p} = \delta \frac{(T' - T)}{T}$$

Donde las variables primadas están referidas al medio atmosférico.

Usando las ecuaciones III.7 y III.8 podemos afirmar que:

$$\frac{\delta}{\alpha} = -\frac{T}{p} \frac{\partial p}{\partial T} \quad (7)$$

Ahora bien modelando las características de una atmósfera en meso-escala obtenemos:

$$p_0' e^{-\zeta z} = p + \frac{g\mu}{R\gamma} p \left[ 1 - \frac{(T_0' - \gamma Z)}{T} \right] \quad (8)$$

Se ha usado  $\zeta = 0.116.km^{-1}$ . Ahora bien  $p$  y  $T$  están relacionados entre si mediante la ecuación de gas ideal, entonces:

$$p_0' e^{-\zeta z} = \frac{\rho RT}{\mu} + \frac{g\rho}{\gamma} [T - T_0' + \gamma Z] \quad (9)$$

Donde  $\mu$  es el peso molecular de la burbuja de aire y  $R$  es la constante de Rydberg para los gases ideales.

La ecuación 9 es una función trascendental que modela la ascensión de una burbuja de aire de densidad  $\rho$  y temperatura  $T$  en un medio atmosférico de meso-escala (Troposfera), por lo tanto, es de interés conocer las propiedades termodinámicas necesarias de la burbuja para que alcance el equilibrio termodinámico a la altura  $Z$ . Obsérvese, que por ser una función trascendente, debemos linealizarla para obtener  $Z$  como una función de las variables termodinámicas; para ello basta con notar que la ecuación IV.9 es aplicable solo en el intervalo:  $0 \leq \zeta Z \leq 2.32$ ., puesto que el modelo lineal de la troposfera es solo valido hasta una cota inferior a los 20 km de altura respecto a la superficie terrestre. Luego de linealizar la ecuación precedente obtenemos la relación 10 que expresa la cota de altura que alcanza la burbuja manteniéndose en equilibrio hidrostático.

$$Z = \frac{\left( \frac{\rho R}{\mu} + \frac{g \rho}{\gamma} \right) T - \frac{g \rho}{\gamma} T_0' - p_0' \zeta}{p_0' \zeta - g \rho} \quad (10)$$

Suponiendo que la burbuja se encuentra en equilibrio termodinámico consigo misma; se tienen entonces, algunos casos particulares en los cuales considerando los parámetros referidos a los distintos medios y a la constitución de la burbuja se presenta la evolución mecánico-térmica de la burbuja; bajo convección hidrostática.

### 3. Atmósfera de la Tierra

Las nubes troposfericas terrestres están conformadas principalmente por vapor de agua, entonces tiene importancia dentro de la dinámica

atmosférica conocer la evolución de burbujas constitutivas de aire y vapor de agua bajo condiciones del medio, por otro lado el efecto de invernadero en la Tierra se produce por polución de gases contaminantes como el Dióxido de Carbono y metano, así que conociendo la altura alcanzada por estas burbujas, podríamos mas adelante hacer estimaciones, sobre niveles de polución en términos de emisión. Partiendo de la ecuación 10 se presentan datos necesarios para es estudio convectivo de burbujas [figura 1].

Los datos empleados son: temperatura media atmosférica 300K, presión media al nivel del mar  $1,01 \cdot 10^6 \text{Pa}$ , gradiente adiabático de la troposfera  $6,45 \cdot 10^{-3} \text{ km/K}$ , relación presión –altura es  $0,116 \cdot 10^{-1} (1/\text{km})$  y la gravedad media al nivel del mar es  $9,8 \text{m/s}^2$ . A continuación se presenta la altura alcanzada por burbujas de Aire, Metano, Dióxido de Carbono y vapor de agua en la atmósfera de la Tierra, para temperaturas superiores a la temperatura media atmosférica ( $T > 300\text{K}$ ). [figura 2][figura 3]

#### **4. Atmósfera de Venus**

La atmósfera de Venus es un caso interesante por las altas temperaturas en el medio, las nubes de Venus se conforman principalmente de sulfato de hidrogeno y dióxido de azufre (Barsukov, V. et al, 1992), a diferencia de la Tierra la atmósfera de Venus tiene una temperatura media de 737K, lo cual implica; mediante los criterios de estabilidad que las temperaturas internas para la burbuja tienen que ser superiores a esta cota, para poder ascender, a continuación se presentan las graficas de ascensión para una burbuja de sulfato de hidrogeno en la atmósfera de Venus para temperaturas internas superiores a la temperatura media, y además para dióxido de carbono como principal constituyente nebuloso [Figura 4].

## **5. Atmósfera de Marte**

La atmósfera de Marte es bastante diferente a la atmósfera de la Tierra. La atmósfera de Marte está formada por dióxido de carbono (95,32%), nitrógeno (2,7%), argón (1,6%), oxígeno (0,13%), y trazas de vapor de agua (0,03%), monóxido de carbono y gases nobles. La presión media de la superficie es de 0,6% la de la Tierra, equivalente a la presión de la atmósfera terrestre a una altura de 35 km. La temperatura media registrada es 213K con una temperatura máxima de 290K y un mínimo de 133K [Figura 5]

## **6. Conclusiones**

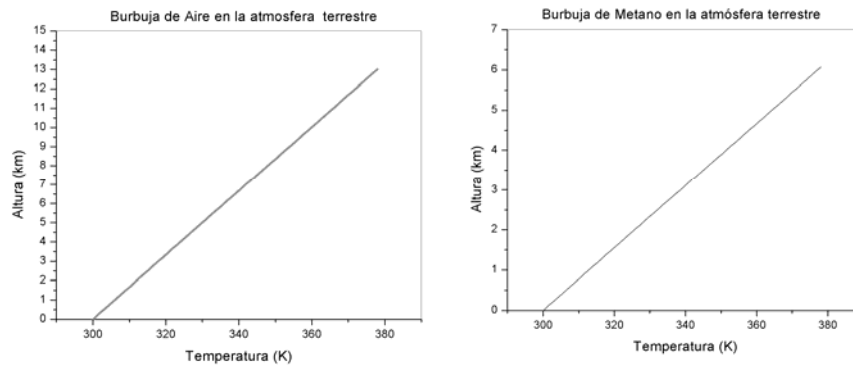
La ecuación 10 que modela las gráficas de estabilidad atmosféricas, es el resultado de asumir el equilibrio hidrostático, la ecuación de estado, y la escala de presiones y temperaturas como función de la altura, para modelar la estabilidad convectiva para una parcela de gas en un medio fluido (atmósfera). La aplicabilidad de esta ecuación esta restringida a meso-escala debido a que en ella es implícito el perfil de temperatura con aproximación en un gradiente adiabático de temperatura medio, y a niveles de atmósferas esto sucede en la troposfera en cuya capa la atmósfera se considera homogénea, por otro lado; el desplazamiento  $Z$  de la burbuja es proporcional a la diferencia de temperaturas entre la burbuja de gas y el medio; ambos para estados iniciales de una observación, y esto es posible porque en la parte constante de la ecuación se incluye mediante el equilibrio los parámetros mas influyentes del medio; como lo es la temperatura media, presión a nivel superficial terrestre, gradiente adiabático y una constante de linializacion isobárica.

Desde el punto de vista comprensivo es interesante para el caso de la atmósfera terrestre el movimiento convectivo de una burbuja de aire, en la cual su temperatura interna es mayor que la del medio, como caso limite de las condiciones de equilibrio que definen la estabilidad atmosférica. Para este

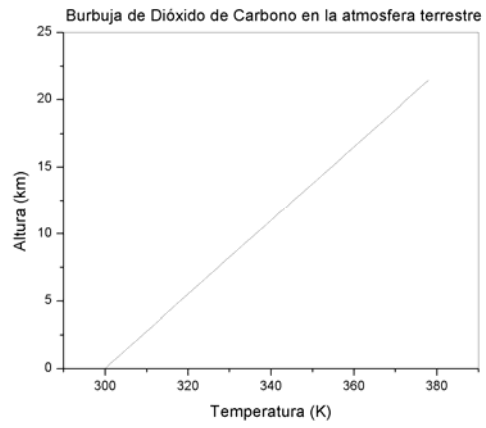
caso y para los relacionados con la Tierra el rango de temperatura será de 300 a 370K.

Para la atmósfera de Venus por su parte se consideraron burbujas de Sulfato de Hidrogeno y Dióxido de carbono, esto motivado a que ambos conforman los principales componentes de las nubes atmosféricas, en estos casos las temperaturas incluidas van desde 737K (temperatura media atmosféricas) hasta una cota de 880K, obteniéndose mayor ascensión para el sulfato de hidrogeno (mayor contribuyente nebuloso), donde aun esperando mayor ascensión por parte de las burbujas los resultados tienen credibilidad considerando la alta temperatura en Venus y el gran impacto ocasionado por el efecto invernadero en el cual el sulfato de hidrogeno es un gran contaminante.

La atmósfera de Marte posee dióxido de carbono en grandes cantidades; la burbuja de dióxido de carbono en Marte alcanza alturas similares a las que alcanza la burbuja de aire en la Tierra de igual modo sucede con el metano, a pesar de las bajas temperaturas en Marte, se tiene que no se dan mayores niveles de ascensión, dado que la baja temperatura ayuda al sobreenfriamiento resultando condensación sobre núcleos higroscópicos.

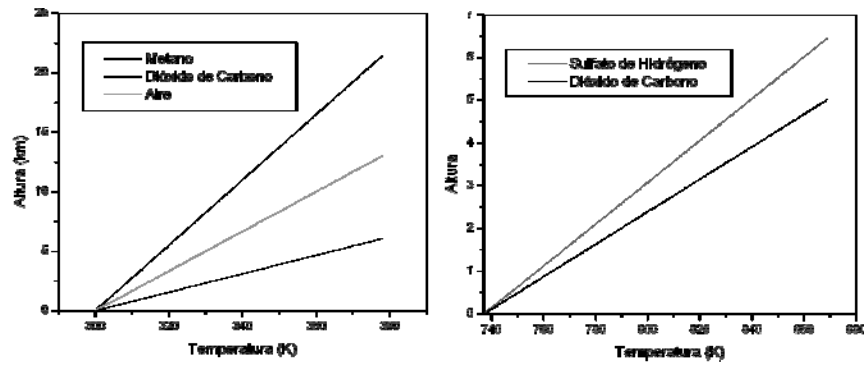


**Figura 1. Altitud alcanzada por una burbuja de aire (izq) y de metano (der) en la atmósfera terrestre en la aproximación de un gradiente adiabático seco.**

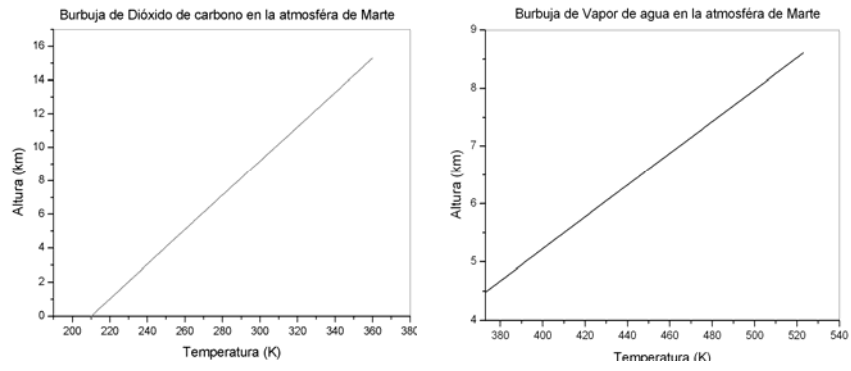


**Figura 2.** Altitud alcanzada por una burbuja de Dióxido de carbono en la atmósfera terrestre

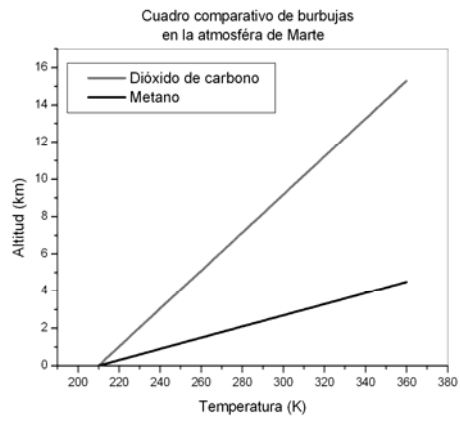




**Figura 3** A la Izquierda se muestran en la misma grafica las características de una burbuja de Aire, CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en el rango de 300K-370K, en la atmósfera terrestre.



**Figura 4. Burbuja de dióxido de carbono (izq) y de vapor de agua (der) en la atmósfera marciana**



**Figura 5** Burbujas de dióxido de carbono, metano y vapor de agua en la atmósfera de Marte,

## Referencias

- Battan L. J. (1961): "La naturaleza de las tormentas". Eudeba, Buenos Aires.
- McCormic, R. A. and Ludwig, J. H. (1967).: Climate modifications by atmospheric aerosols, *Science*, 156, 1358–1359
- Pielke, R. A. (1984), "Mesoscale Meteorological Modeling", *Academic Press*, London
- Rogers,R.R. (1976) "Física de las Nubes". Editorial Reverté, S.A. Barcelona.
- Peixoto, J. P., and A. H. Oort, (1984): The climatology of relative humidity in the atmosphere. *J. Climate*.
- Siggia E. D., (1994). *Annu. Rev. Fluid Mech.* 26, 137