

Estabilidad Atmosférica: Gradientes Verticales e Inversión Térmica

En la troposfera, donde tiene lugar la dinámica atmosférica que controla los fenómenos meteorológicos, **la temperatura del aire desciende conforme aumenta la altura**. Esto es así porque la densidad disminuye al aumentar la temperatura del aire. En términos intuitivos, el aire al calentarse y aumentar su temperatura se expande y por tanto baja su densidad. **Los cuerpos menos densos ascienden**, como ocurre con los objetos que flotan en el agua (principio de Arquímedes). Al ascender el aire y expandirse se enfría, transfiriendo calor al aire más frío de las capas superiores hasta alcanzar el equilibrio térmico. También la presión disminuye con la altura: las capas bajas deben tener más presión, pues “soportan un mayor peso de todas las capas por encima de ellas”.¹

Una atmósfera es **estable** cuando **tiende a impedir cualquier movimiento vertical de aire**. Para poder saber cuándo se cumple esta condición hemos de introducir dos importantes conceptos:

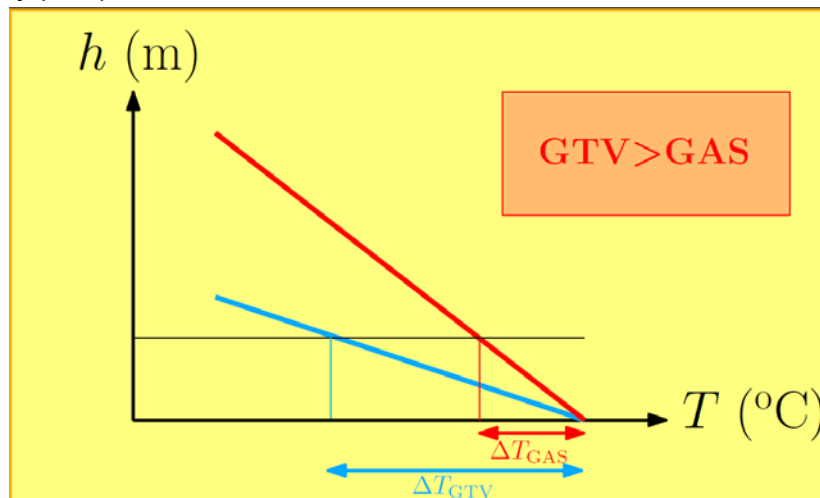
- El primero es el **Gradiente Vertical de Temperatura (GTV)**. Es la diferencia de temperatura conforme crece la altura **para el aire en reposo**. Este gradiente depende en general de muchos factores, como la latitud, la orografía, la época del año, etc. En término medio, su valor es de $GTV = 0,65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Esto es, al ascender 100 metros, la temperatura baja $0,65^{\circ}\text{C}$ (siempre en término medio: pueden darse incluso **inversiones térmicas** en las que la temperatura del aire se incrementa al crecer la altura).
- Un segundo concepto **se refiere al aire en ascenso**: es el **Gradiente Adiabático Seco (GAS)**². La variación de la temperatura con la altura depende de si el aire se mueve o no: en la primera situación hay equilibrio termodinámico y en la segunda no. En el ascenso de aire lo único que se mantiene casi-constante es la energía interna de la masa de aire (por eso se llama adiabático). El GAS puede predecirse en términos de magnitudes físicas y su valor es aproximadamente de $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Esto es, si una masa de aire sube, pierde 1°C por cada 100 metros que asciende.

¹ Hasta aquí el razonamiento es más o menos intuitivo. Sin embargo, saber cómo descienden la presión y la temperatura con la altura es un problema enormemente complejo, que aún es objeto de investigación. **Empíricamente, se observa que la temperatura decrece aproximadamente de forma lineal con la altura** (es por eso que tiene sentido definir un gradiente), **mientras que la presión decrece exponencialmente**. En equilibrio de fuerzas, la variación de presión Δp al incrementar la altura Δh viene dada por $\Delta p = -g\rho(p)\Delta h$, donde $\rho(p)$ es la densidad en función de la presión. Sin hipótesis adicionales, la relación entre densidad y presión no puede derivarse de la ley de los gases ideales $p = \rho\left(\frac{R}{M}\right)T$, ya que la temperatura no es constante.

² A una cierta altitud si el aire empieza a condensar y libera el vapor latente de vaporización (desprende calor), el ritmo de descenso de la temperatura al ascender una masa de aire también disminuye: es lo que se conoce como gradiente adiabático húmedo (GAH).

Para saber cuándo la atmósfera es estable o inestable, debemos comparar estos dos gradientes que identifican el aire en equilibrio (GTV) y en movimiento (GAS).

- ¿Qué pasa si en un punto del planeta el **GTV es mayor que el GAS**? Esto es, si para una misma altura, el aire que intenta ascender disminuye su temperatura en un valor ΔT_{GAS} que es menor que el descenso ΔT_{GTV} del aire en reposo que lo circunda. Pues como ha disminuido su temperatura menos que el aire de alrededor, está más caliente y liviano que el de alrededor, y quiere seguir subiendo. Es una **situación inestable**, porque cuando empieza a subir, el hueco que ha dejado esa masa de aire crea una **depresión o baja presión** (como un vacío) que ha de ser llenado por más aire. Aire que tenderá a ascender y condensar y precipitar, etc. etc. Se ha formado una **borrasca**.



- Ahora al revés, ¿qué pasa si en algún punto del planeta el **GTV se hace menor que el GAS**? Bueno, ahora si una masa de aire intentase hipotéticamente ascender, su temperatura descendería más que la del aire en reposo y no continuaría subiendo. De modo que la situación es estable, y el aire tiende a descender generando una zona de alta presión (**anticiclón**).

