



**Meteorología**

***GRADO EN GESTIÓN Y OPERACIONES  
DEL TRANSPORTE AÉREO***

Departamento de Física Aplicada

## Condensación sobre gotas esféricas

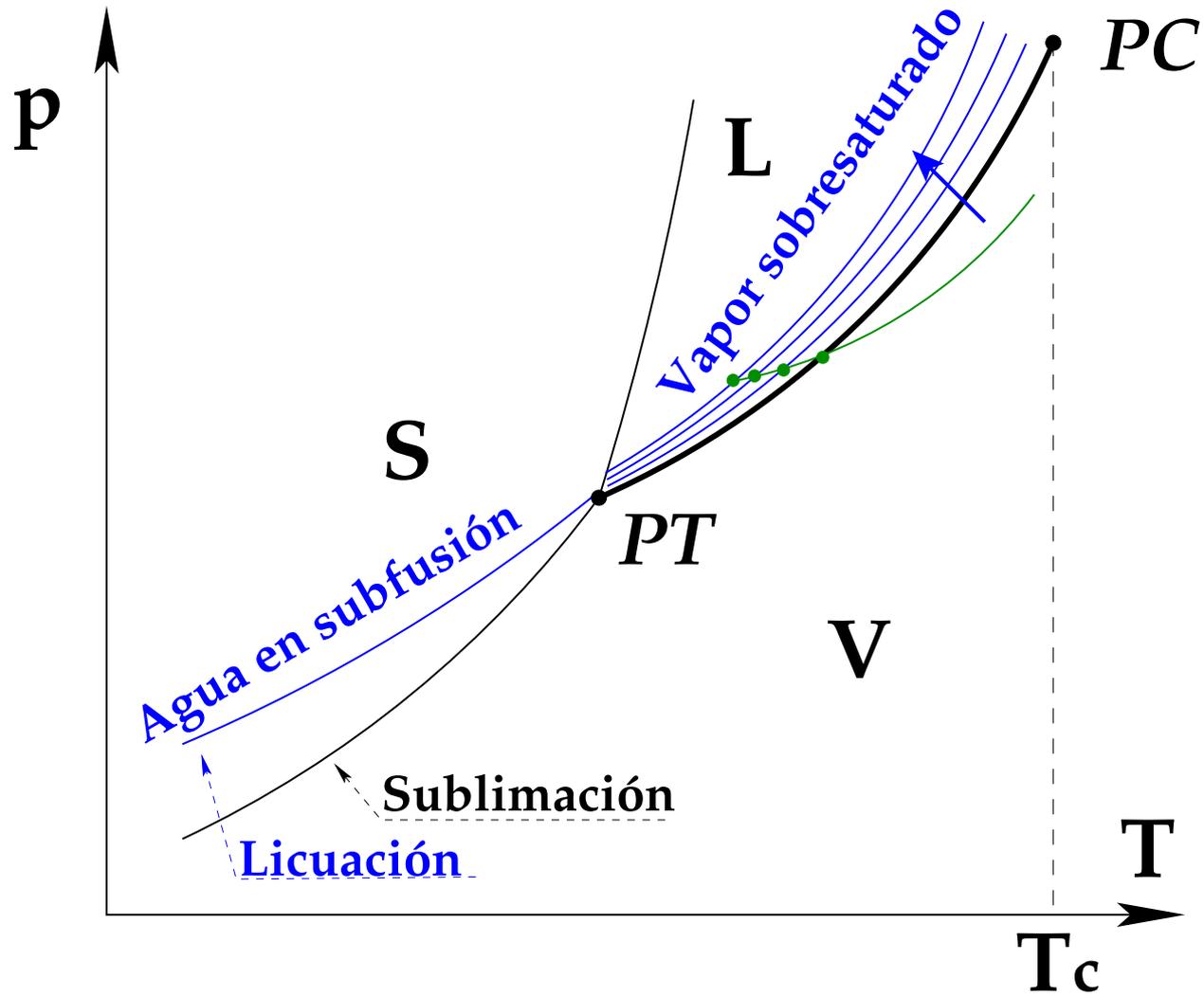
La tensión de vapor de saturación  $E(T)$  sobre superficies planas está dada por la ecuación de Clausius-Clapeyron. Para licuar agua sobre una gota esférica se necesita un aporte extra de trabajo para vencer la tensión superficial de la gota.

La tensión de saturación en la gota  $E_g$  está dada por:

$$\frac{E_g}{E} = e^{\frac{b}{aT}}$$

Donde  $b$  es una constante y  $a$  es el radio de la gota de agua pura.

# Diagrama de fases sobre gotas esféricas



## Conclusiones:

- $E_g > E$  por lo que podemos tener agua sobresaturada.
- $\lim_{a \rightarrow \infty} E_g(a) = E$
- $\lim_{a \rightarrow 0} E_g(a) = \infty$

Es imposible la formación de gotas por condensación en agua pura.

Las gotas se forman sobre núcleos de condensación Formados por partículas soluble en agua procedentes del mar ( $NaCl$ ), cenizas volcánicas, polvo del desierto, etc...

Clasificación por radios:

- Núcleos de Aitken:  $5 \cdot 10^{-3} \mu m < a < 2 \cdot 10^{-1} \mu m$
- Núcleos Grandes:  $0.2 \mu m < a < 1 \mu m$ :
- Núcleos Gigantes:  $1 \mu m < a$

## Condensación sobre gotas esféricas con núcleo

La tensión de saturación en la gota con núcleo  $E_n$  está dada por la fórmula de Köhler:

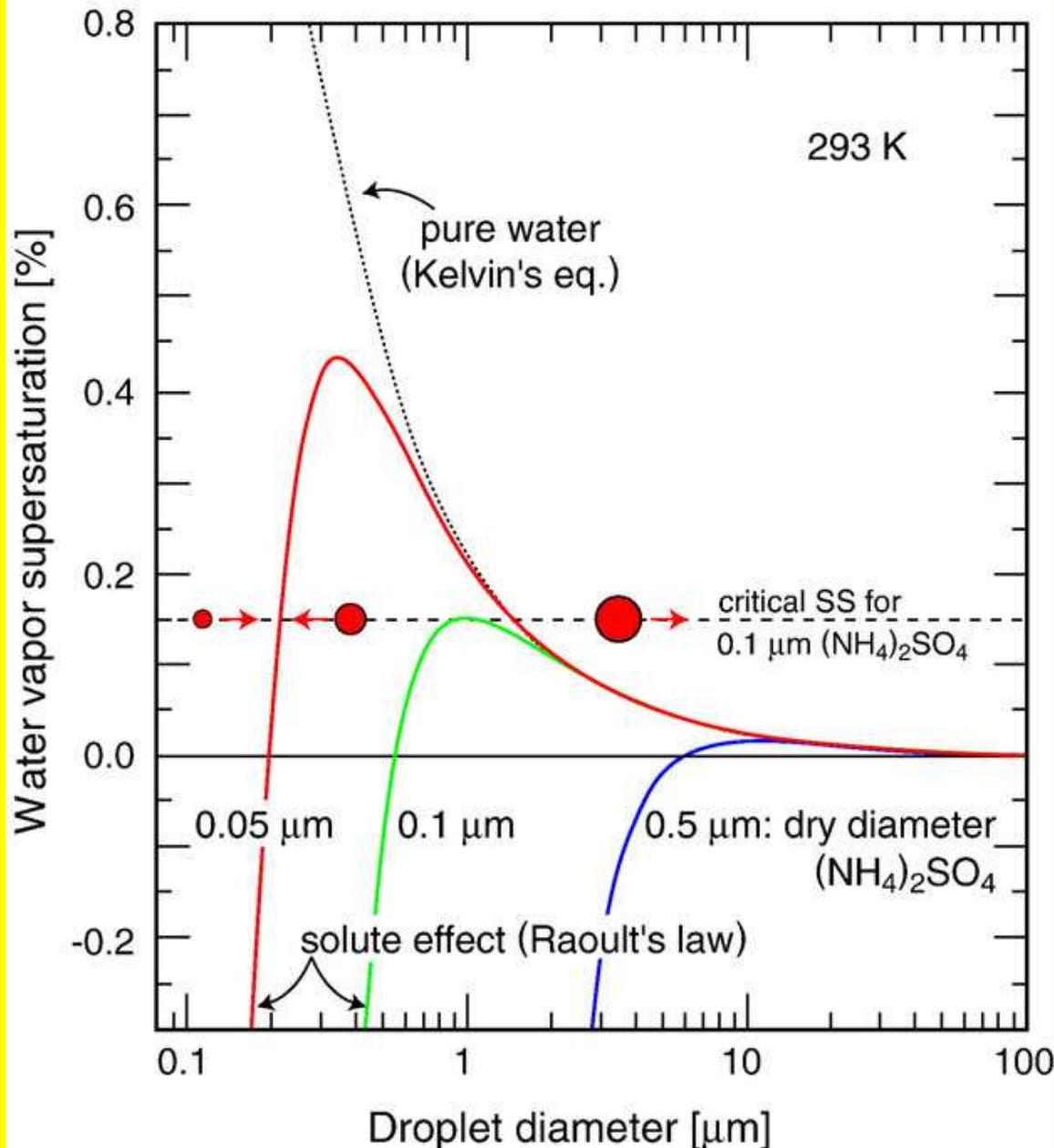
$$\frac{E_n}{E} = \left(1 - \frac{c}{a^3}\right) e^{\frac{b}{aT}}$$

Donde  $b$  es una constante y  $a$  es el radio de la gota de agua y  $c$  depende del tamaño y composición de núcleo de condensación.

Consecuencias:

- $\lim_{a \rightarrow \infty} E_n(a) = E$
- $\lim_{a \rightarrow 0} E_n(a) = -\infty$

# Condensación sobre gotas esféricas con núcleo



Fuente:

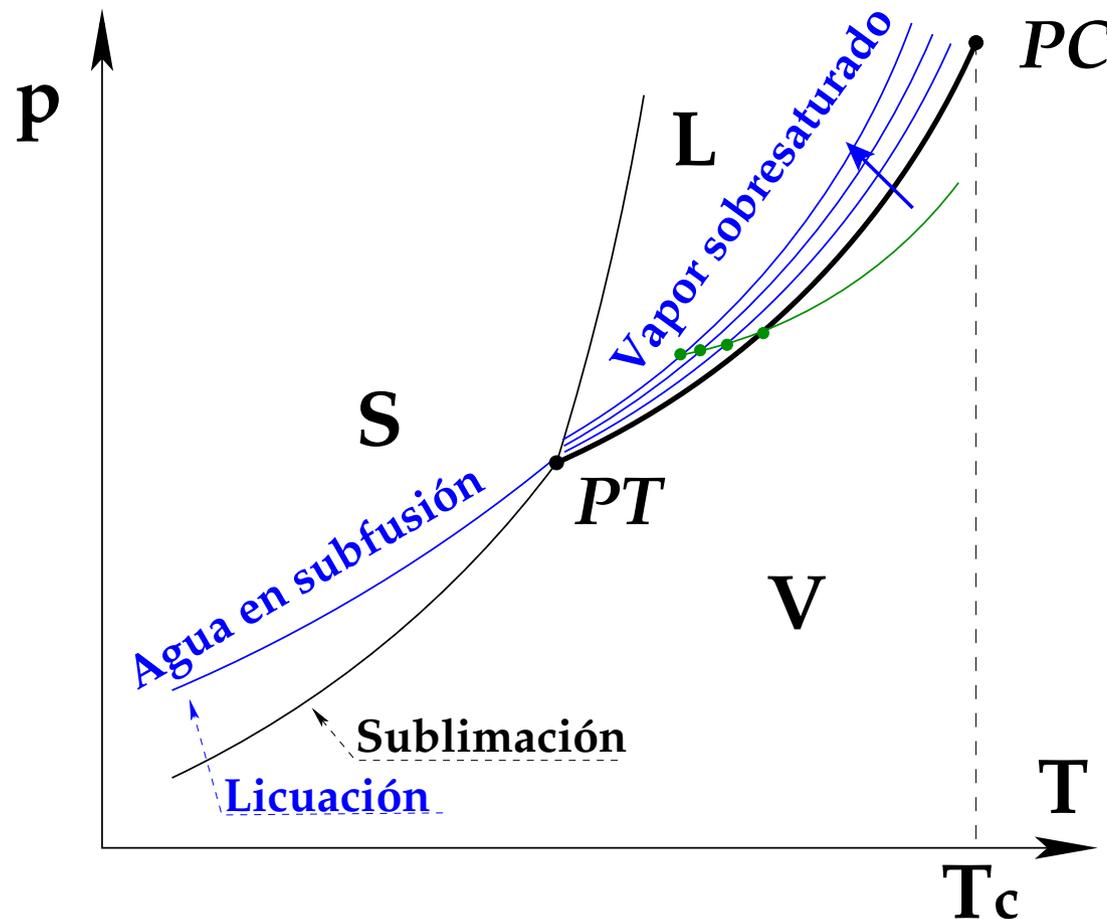
M.O. Andreae and D. Rosenfeld

*Earth-Science Reviews* 89 (2008) 13–41

Las gotas caen antes de su crecimiento adecuado. Crecen por coalescencia.

en G. y O. del Transporte Aéreo

# Coalescencia en nubes frías



$$E_n > E_{hielo}$$

Sublimación sobre núcleos de hielo muy pequeños. El agua líquida y en vapor pasa a hielo.

## Coalescencia en nubes calientes

Los núcleos son grandes o gigantes.

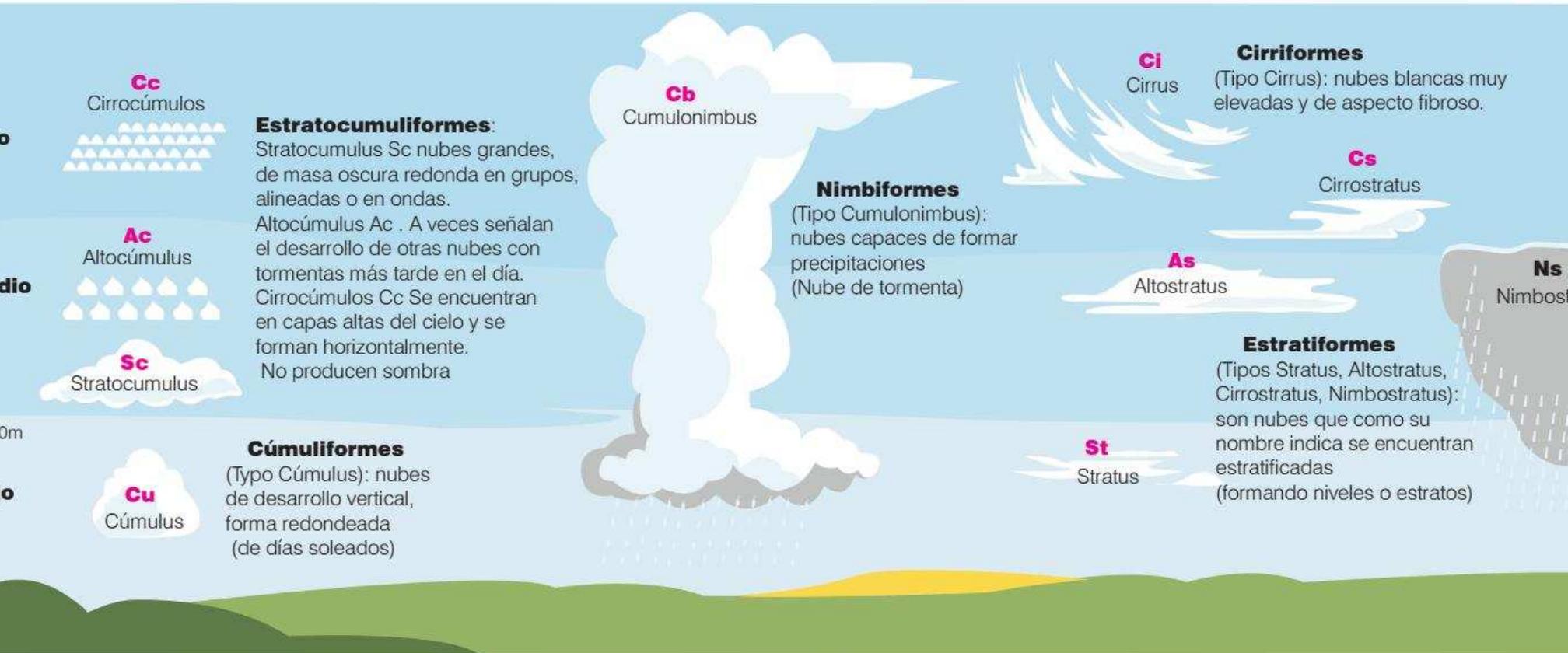
Las gotas son de mayor tamaño.

Las gotas grandes caen y las de menor tamaño caen, aún sin alcanzar el tamaño suficiente, por la estela de las gotas grandes.

# Nubes: Clasificación

Familia	Género	Símbolo	Altura
Nubes altas	Cirros Cirrostratos Cirrocúmulos	Ci Cs Cc	De 5000 m a 10000 m
Nubes medias	Altostratos Altocúmulos Nimbostratos	As Ac Ns	De 2000 m a 7000 m
Nubes bajas	Stratos Estratocúmulos	St Sc	De 0 m a 2000 m
Nubes de desarrollo vertical	Cúmulus Cumulonimbos	Cu TCU Cb	De 0 m a 10000 m

# Nubes: Clasificación



<https://cloudatlas.wmo.int/home.html>

# Procesos de formación de Nubes

- Orográfica
- Turbulencia
- Convectiva
- Advección
- Frontales

## Condiciones para su formación:

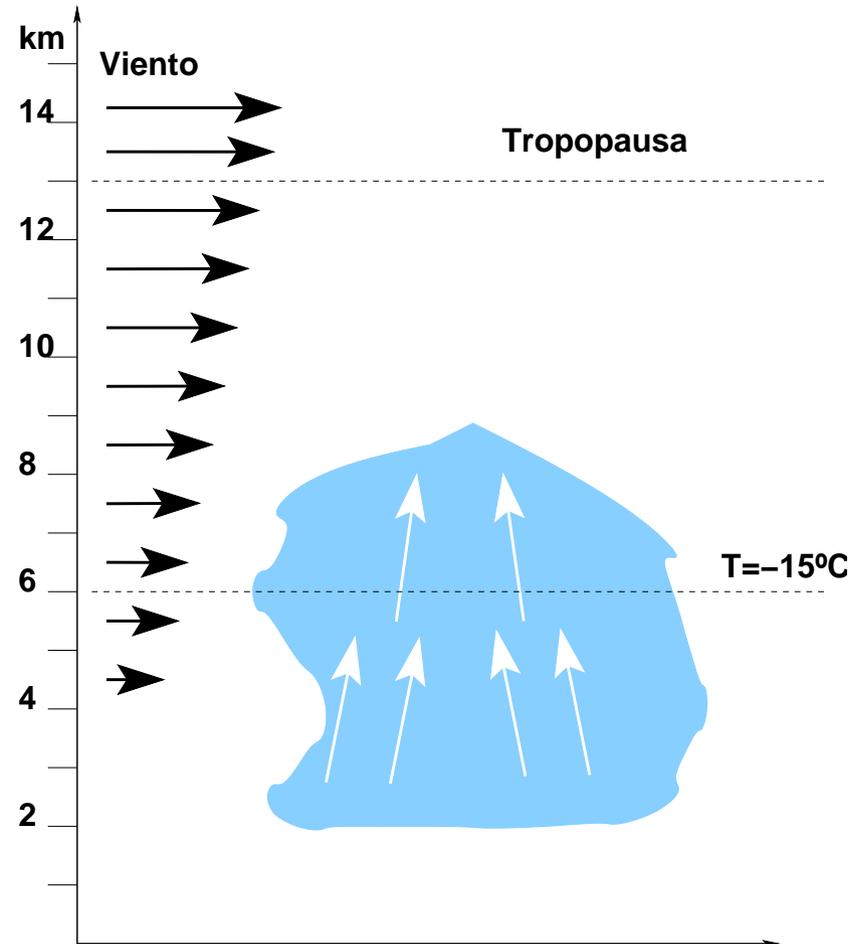
- Inestabilidad para que se inicie el ascenso de la masa de aire.
- Humedad proporción de mezcla alta para suministrar calor por condensación y solidificación.

## Fases de la tormenta (una de las celdas)

- Estado de desarrollo
- Estado de madurez
- Estado de disipación.

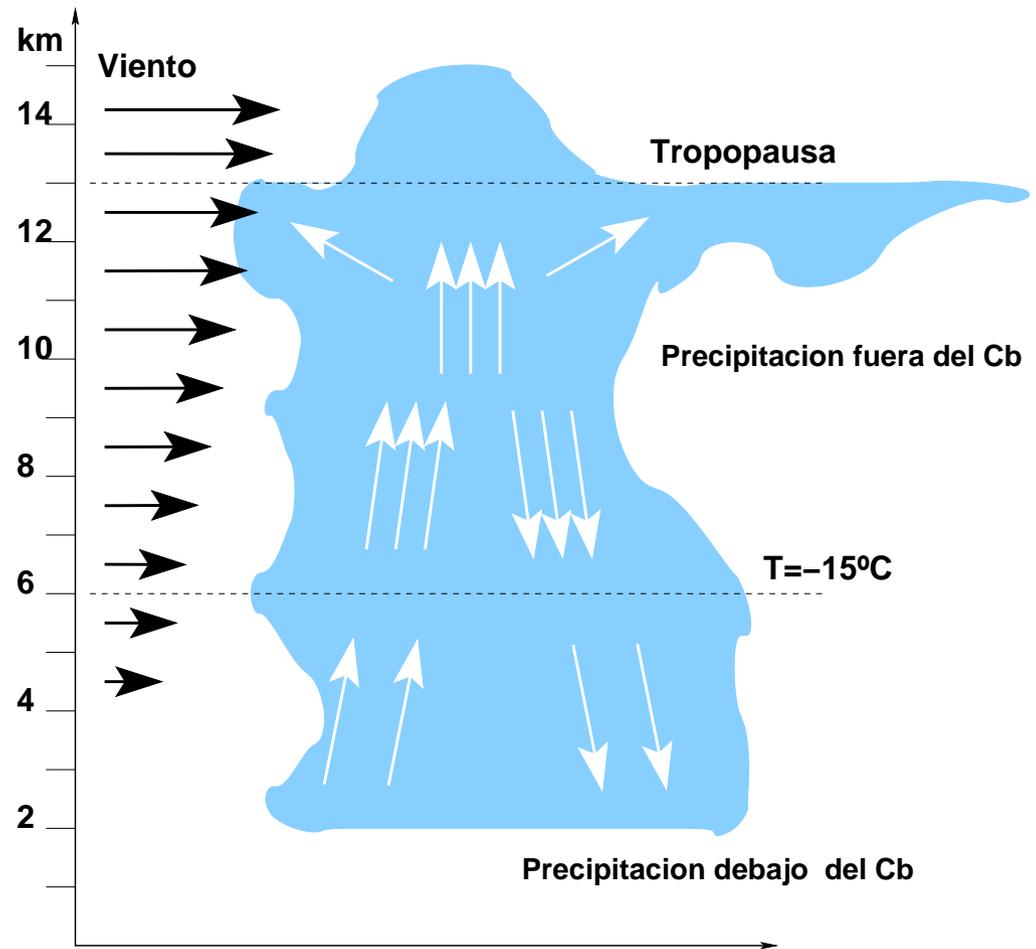
## Tormentas: Estado de desarrollo

Se inicia la inestabilidad y la condensación de agua. Grandes corriente ascendentes de hasta 10m/s en la parte central o chimenea. Finaliza cuando la masa de agua comienza a caer bruscamente.



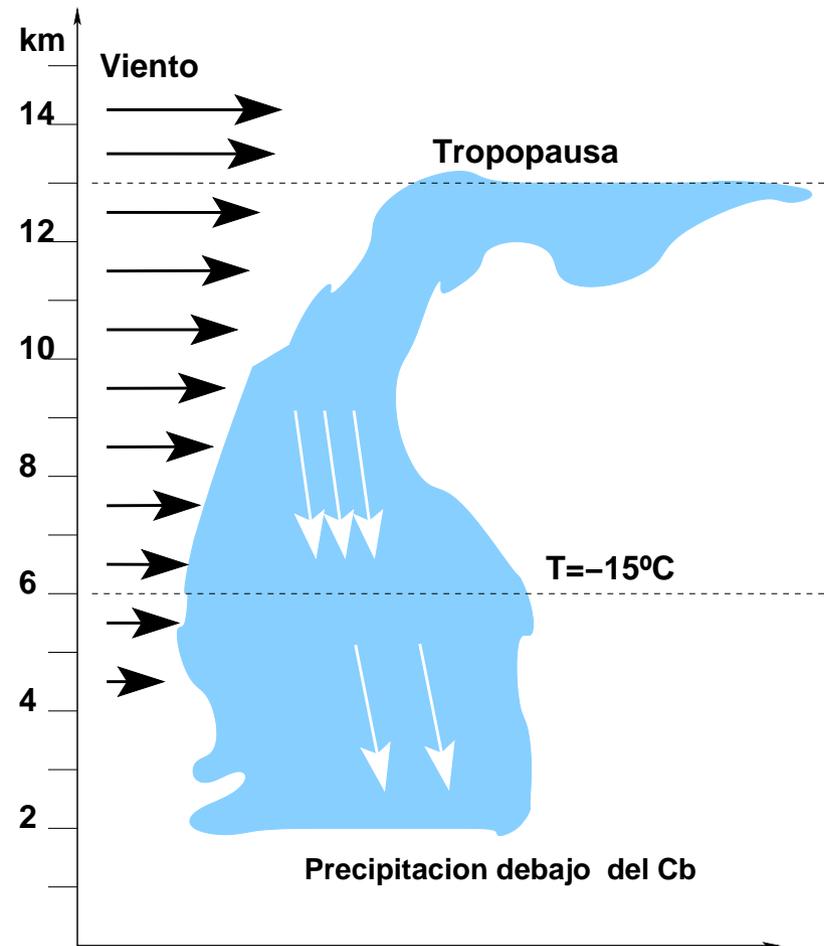
## Tormentas: Estado de madurez

Se produce la precipitación. La masa de agua cae provocando en tierra la primera racha que puede extenderse varios kilómetros por delante de tormenta. Ver turbulencias. La corriente ascendentes del aire aun persisten.



## Tormentas: Estado de disipación.

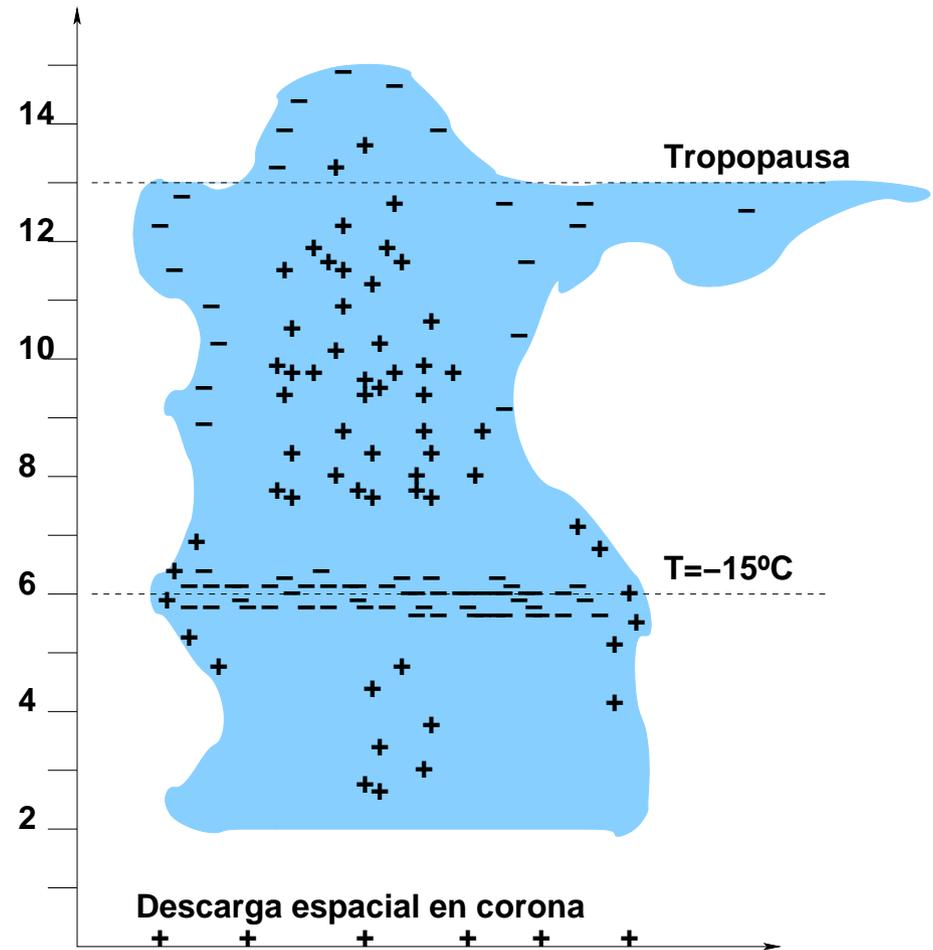
Predominan las corriente descendentes por lo que la nube desaparece. Queda un pequeño cirrus correspondiente al pico del yunque.



Grado en G. y O. del Transporte Aéreo

# Estructura eléctrica de la tormenta

- Carga positiva superior.
- Carga negativa muy plana en torno a  $T = -15^{\circ}\text{C}$ .
- Carga positiva inferior mas pequeña que las anteriores.
- Pequeña descarga en corona en tierra. Producción de  $O_3$ .



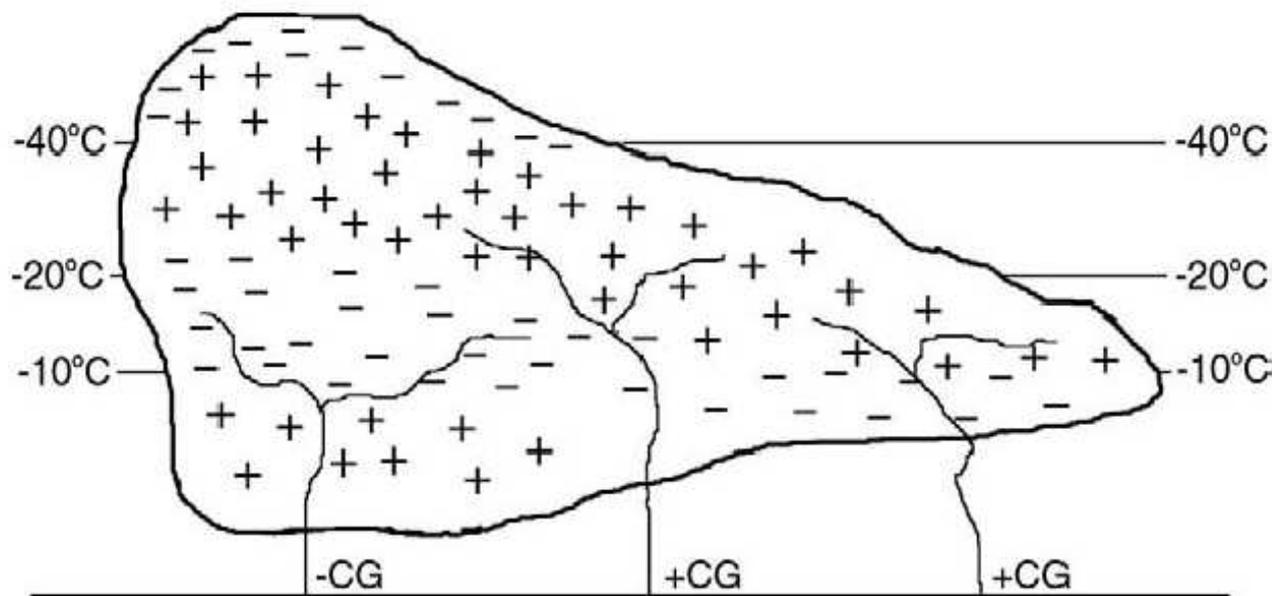
Grado en G. y O. del Transporte Aéreo

## Rayos y relámpagos

- Son descargas en el interior de la nube (relámpago) o hacia tierra o al avión (rayo) debido a la ruptura dieléctrica del aire.
- Pueden ser con precipitación o sin ella.
- Se libera gran cantidad de energía. La temperatura del aire asciende a varios miles de K.
- Esto provoca una brusca dilatación del aire y su correspondiente onda expansiva, el trueno.

# Rayos

Puedes ser descargas positivas o negativas.



**Fig. 10.** Sketch map of the electrical structure and the CG flashes in the thunderstorm system.

Fuente: Dong Zheng, Yijun Zhang, Qing Meng, Weitao Lu, Min Zhong, "Lightning activity and electrical structure in a thunderstorm that continued for more than 24 h",

*Atmospheric Research* 97 (2010) 241-256

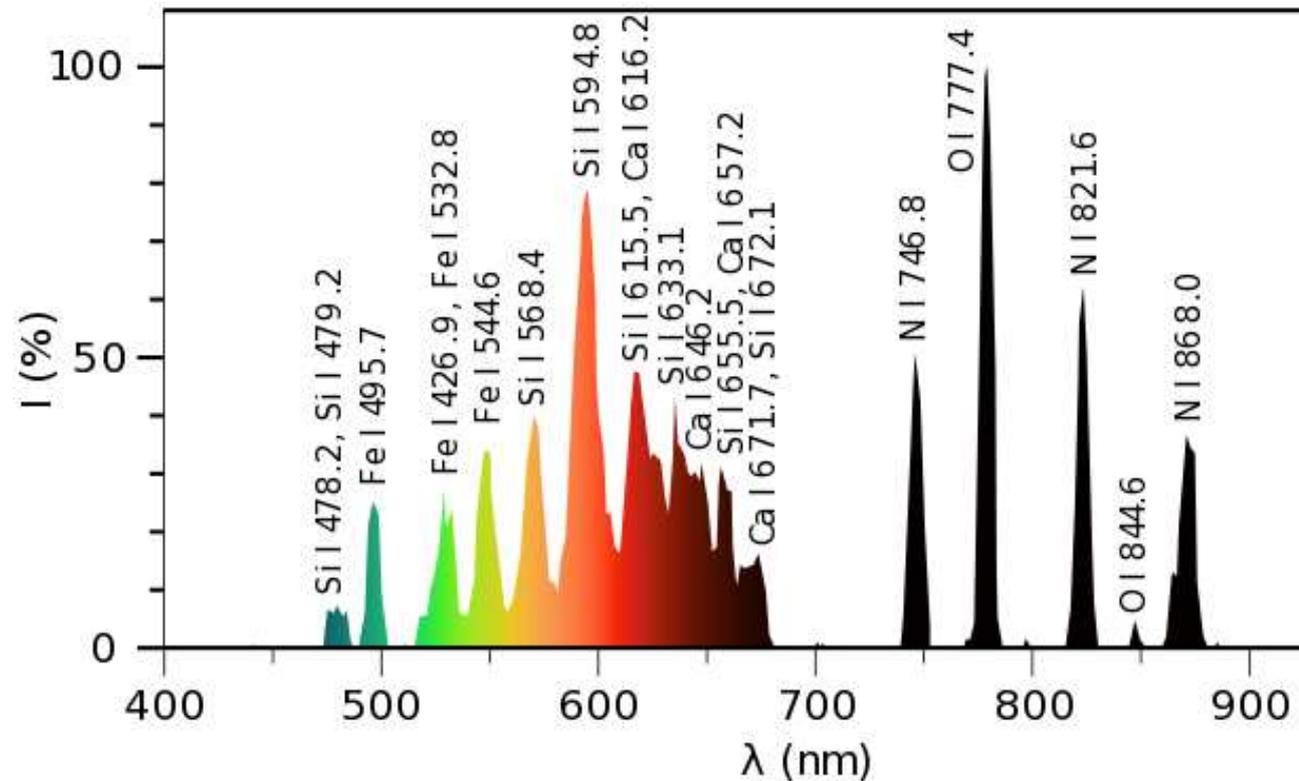
Grado en G. y O. del Transporte Aéreo

## Rayos sobre el avión

- El avión se comporta como una jaula de Faraday no sufriendo daños por la descarga de los rayos.
- Antes del rayo se puede haber micro-descargas en las partes puntiagudas de avión. (Efecto punta de los campos eléctricos).
- Puede tener efecto psicológico sobre la tripulación y pasajeros debido al tremendo ruido e iluminación de la cabina del avión.
- Las descargas al avión se producen con mas frecuencia entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $-25^{\circ}\text{C}$ . Se

## Rayos bola. Ball lightning

son muy infrecuentes. Se desconoce su naturaleza. Aunque las ecuaciones de Maxwell pueden presentar soluciones anudadas, por donde irían las cargas, el problema por explicar es la estabilidad de los rayos bolas.



Espectro de un rayo bola. Basado en:

Cen, Jianyong; Yuan, Ping; Xue, Simin (17 January 2014).

*Physical Review Letters*. **112** (3) 035001

Grado en G. y O. del Transporte Aéreo

## Condiciones de vuelo en tormentas

- Turbulencias con pérdidas de 500m/min.
- Riesgo en la aproximación y despegue por turbulencia debida a reventón descendente.
- Borde delantero del Cb. Según el eco del radar, se aconseja mantener una distancia de 40km con eco fuerte y 20km con eco débil.
- Riesgo de engelamiento en el interior a temperaturas de  $-2^{\circ}\text{C}$  hata  $-30^{\circ}\text{C}$ .
- Riesgo de granizo fuera del Cb por la parte delantera.

# Nieblas: Clasificación

**Niebla:** Suspensión de gotitas de agua muy pequeñas en el aire que reducen la visibilidad a menos de 1 km.

● Enfriamiento.

● Irradiación

● Advección

● Evaporación.

