

# Convección y Microfísica de Nubes

Tema: Microfísica

1º Cuatrimestre 2010

## **Descripción General de los Temas de Microfísica**

- ❖ Formación de gotas de Nube
  - ❖ Nucleación Homogénea
  - ❖ Nucleación Heterogénea
  - ❖ Presencia y tipos de Núcleos de Condensación
  
- ❖ Crecimiento de gotas de nube a gotas de precipitación
  - ❖ Condensación
  - ❖ Colisión-coalescencia
  
- ❖ Formación y Crecimiento de cristales de hielo
  - ❖ Nucleación Homogénea
  - ❖ Nucleación Heterogénea
  
- ❖ Descripción de la precipitación en Nubes de hielo, cálidas o de fase mixta.

Los cambios de fase que presenta el agua en la Física de Nubes son esenciales

Posibles cambios:

Vapor  $\Leftrightarrow$  Líquido

Líquido  $\Leftrightarrow$  Sólido

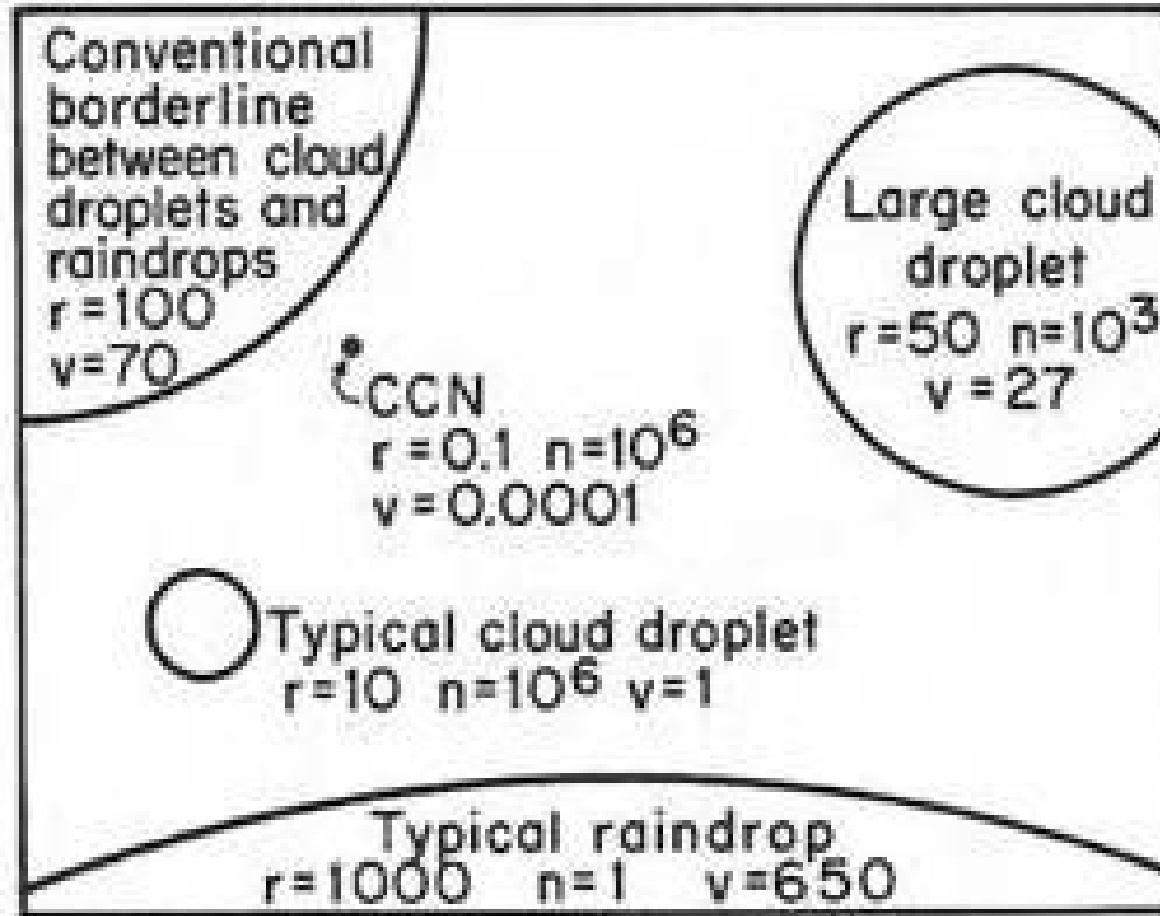
Vapor  $\Leftrightarrow$  Sólido

En los cambios hacia la izquierda estamos pasando a un estado molecular superior.

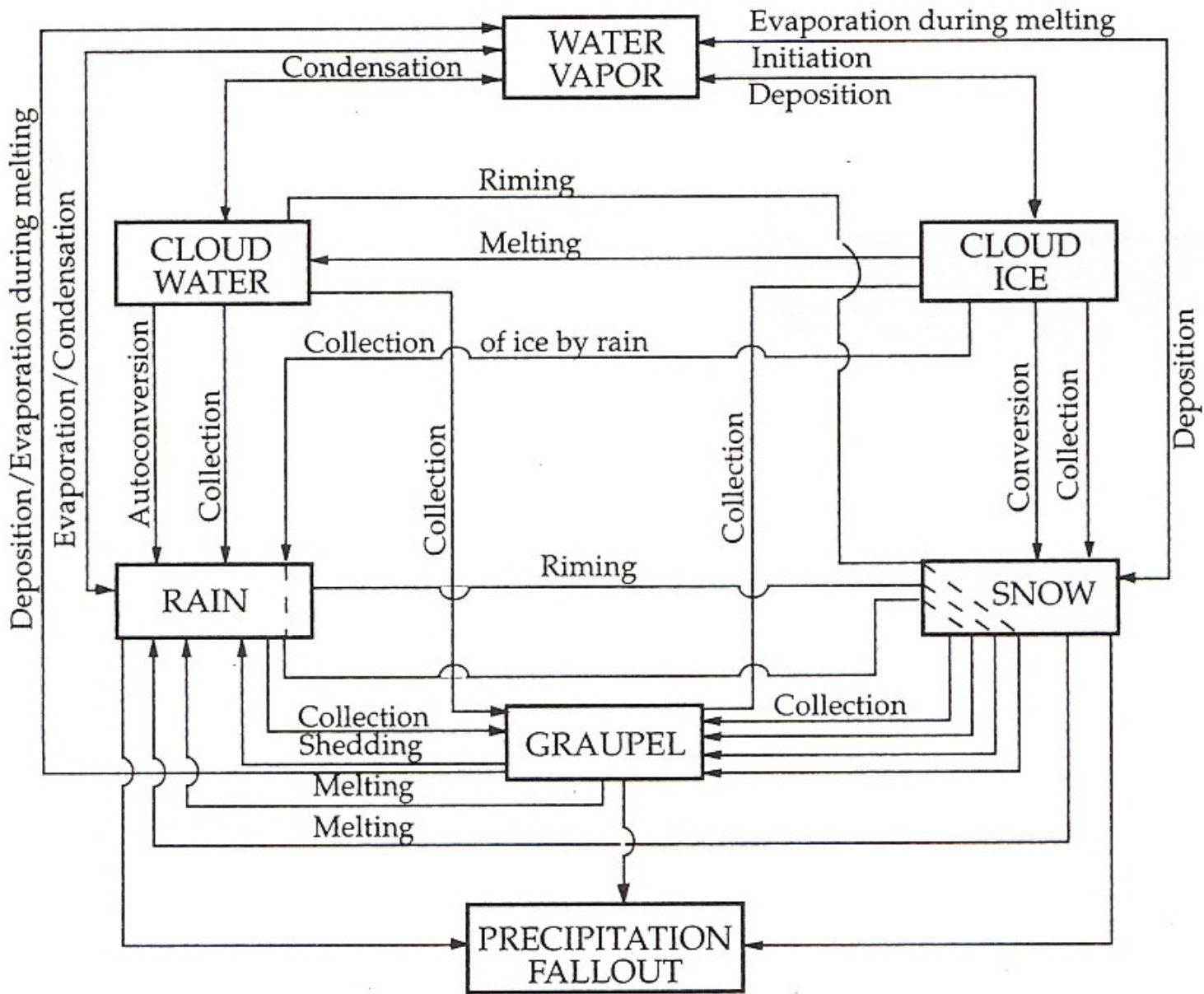
**En la física de nubes hay tres procesos principales de variaciones de fase:**

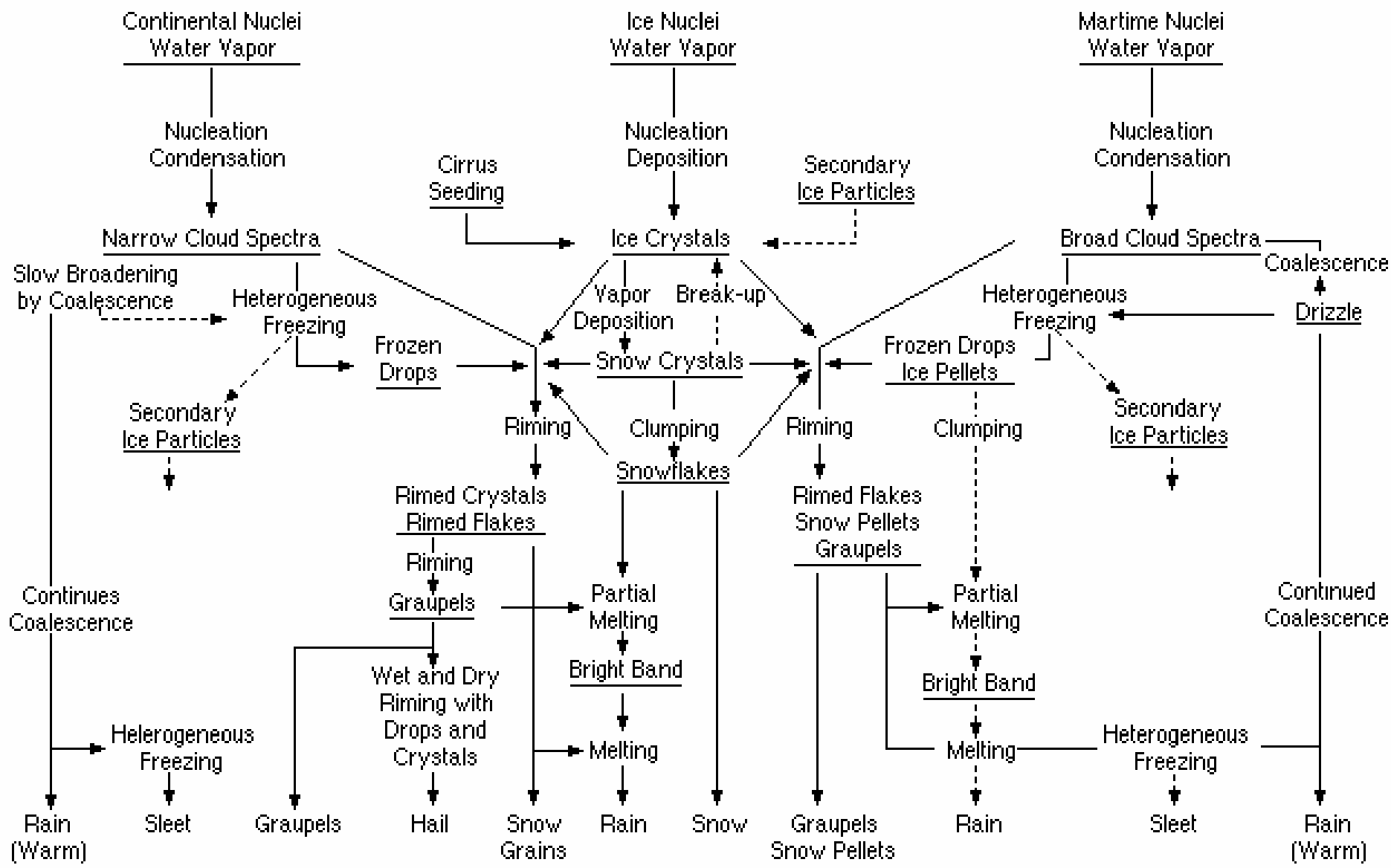
- ❖ Condensación de vapor en las gotas
- ❖ Congelación de una gota y formación del cristal
- ❖ Formación de cristal por sublimación del vapor

## Partículas asociadas a los procesos microfísicos

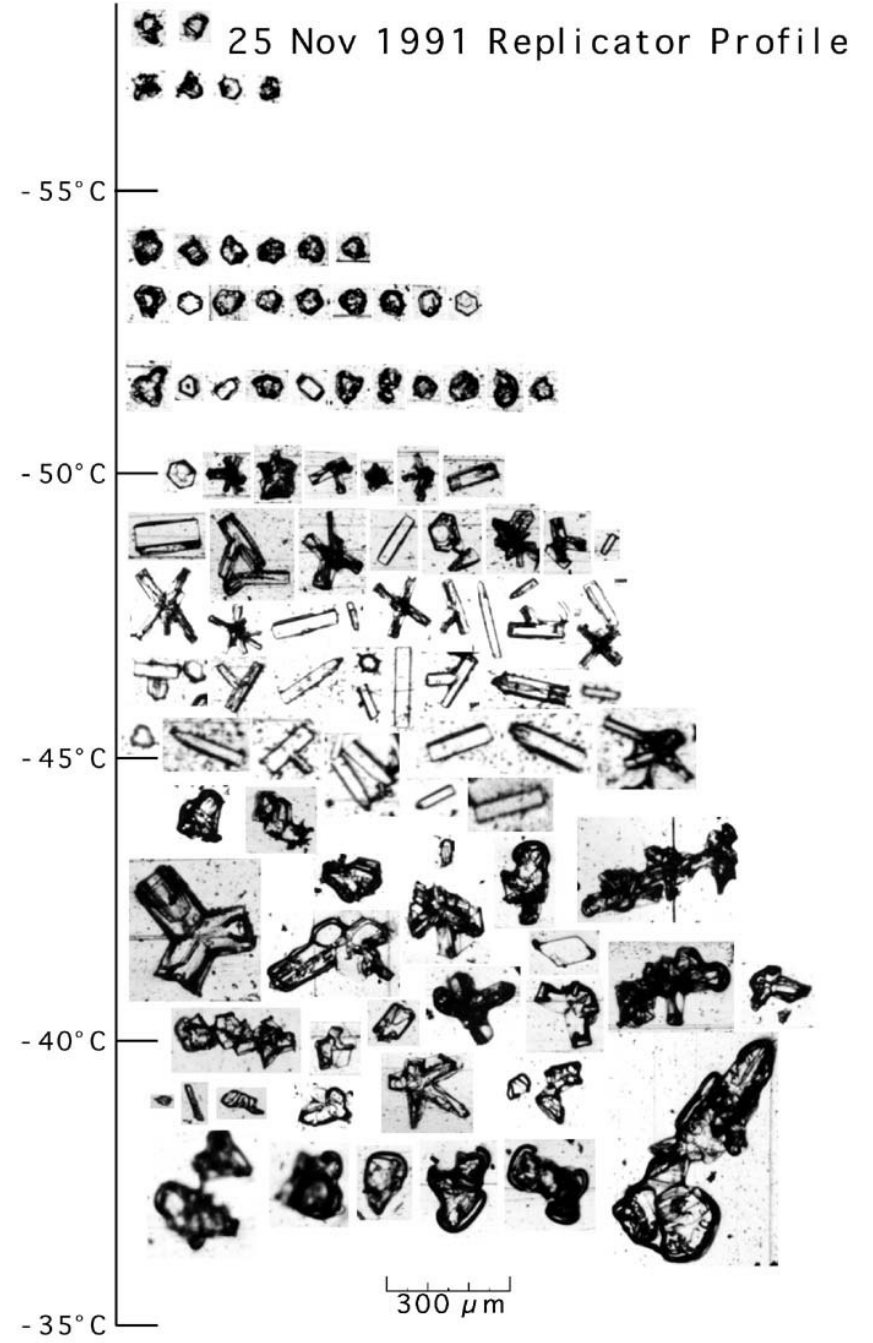
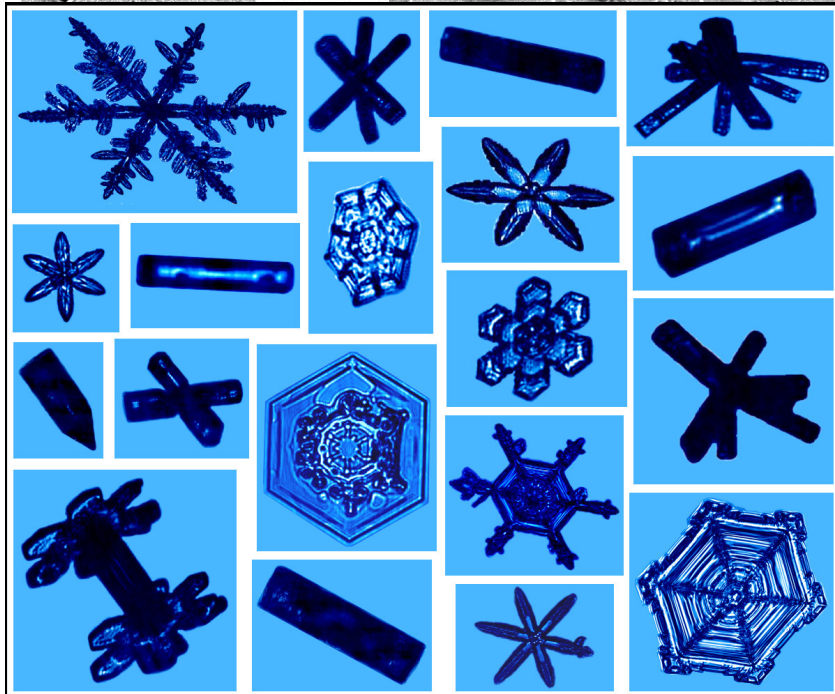
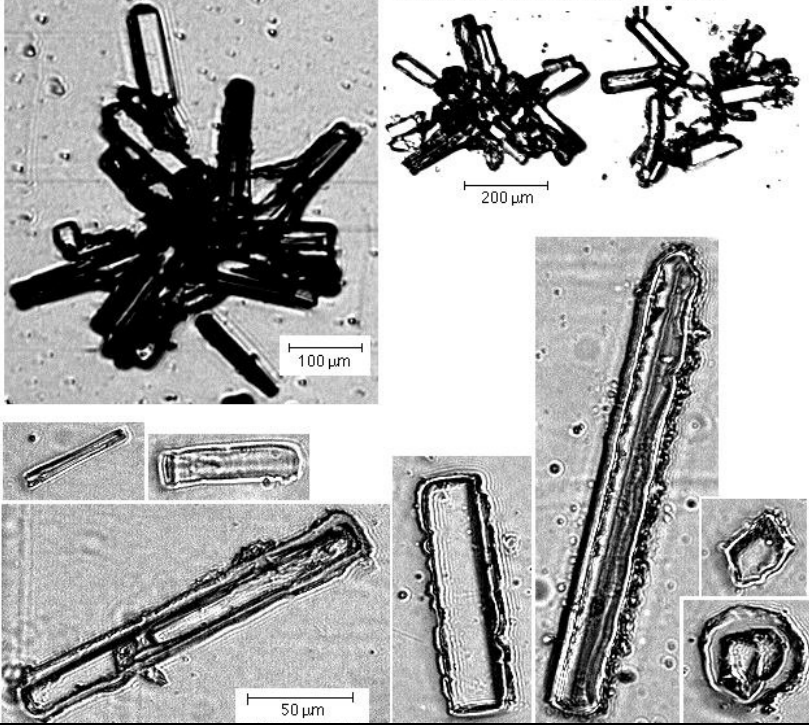


Rogers and Yau (1996)





11/22/91 DR1rep 03\_52\_06 UTC Alt=10.25 km Temp.= -50.91 C Lat=37.484 Lon=95.818



# Una pregunta que surge es: Cómo se forman las gotas en la atmósfera?

En otras palabras ..... Si una parcela de aire asciende adiabáticamente y alcanza la situación de equilibrio de saturación para el “agua plana”

Se forman gotas? La respuesta es NO.

Se necesitan varios cientos de % de saturación para alcanzar a formar un gota esférica

Recordar conceptos de Meteorología Teórica:  
**Saturación para una superficie plana**

## Ley de Dalton

$$p_t = p_r + e$$

Presión total del sistema =

presión parcial del aire seco + presión parcial del vapor de agua

$e$  = presión de vapor

$e_s$  = presión de vapor de saturación (ecuación de Clausius-Clapeyron  $f(T)$ )

$S = e / e_s$  = saturación

$e - e_s = 0$  equilibrio

$e - e_s > 0$  crecimiento

$e - e_s < 0$  decaimiento

Formación de gotas de Nube

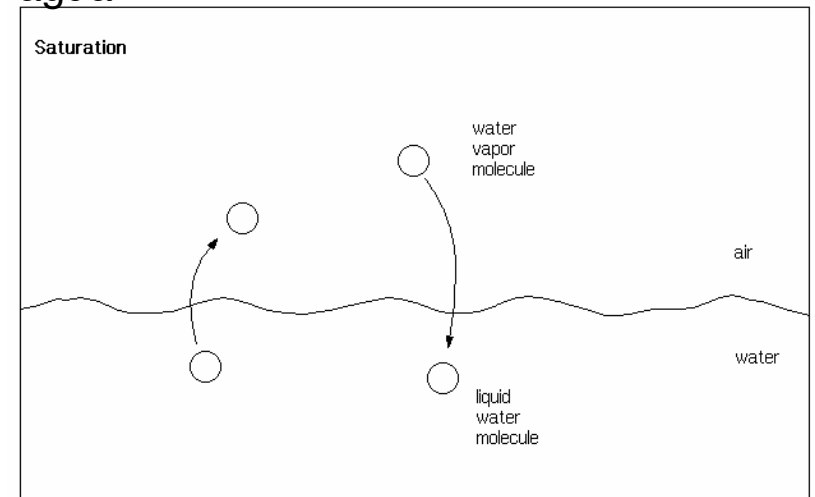


Fig.3



## Una pregunta que surge es: Cómo se forman las gotas en la atmósfera?

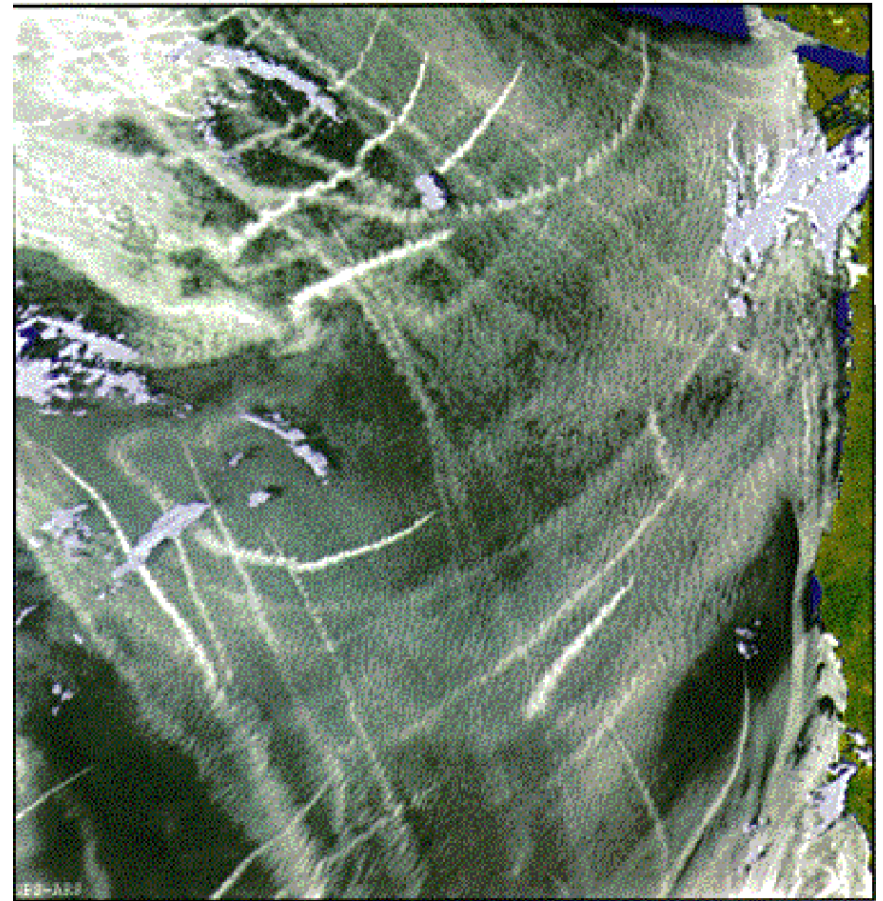
La formación de una gota se denomina **Nucleación**.

El problema mas importante de la nucleación puede ser descrito como:

**Qué chance existe que la colisión y agregación de moléculas de agua conduzcan a la formación de un embrión de gota de nube bajo ciertas condiciones ambientales?**

❖ Nucleación Homogénea. Las gotas de agua se forman directamente de la fase agua del vapor.

❖ Nucleación Heterogénea: las gotas se forman a partir núcleos de condensación (CCN). Estos núcleos son partículas de aerosoles pueden: polvo, arena, partículas de sal generadas por el spray del mar, aerololes naturales y polución antropogénica.



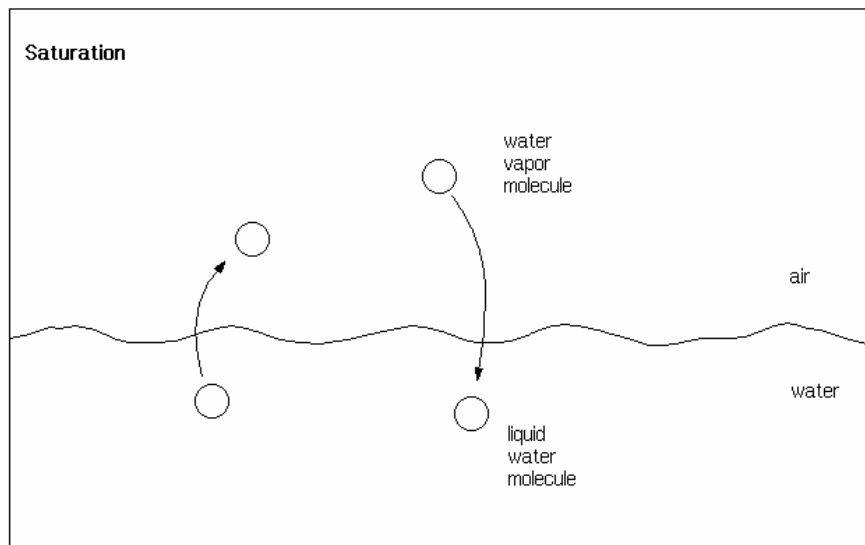


Fig. 3

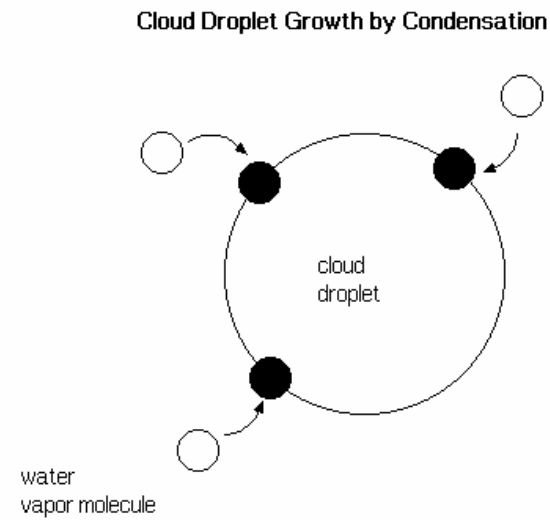
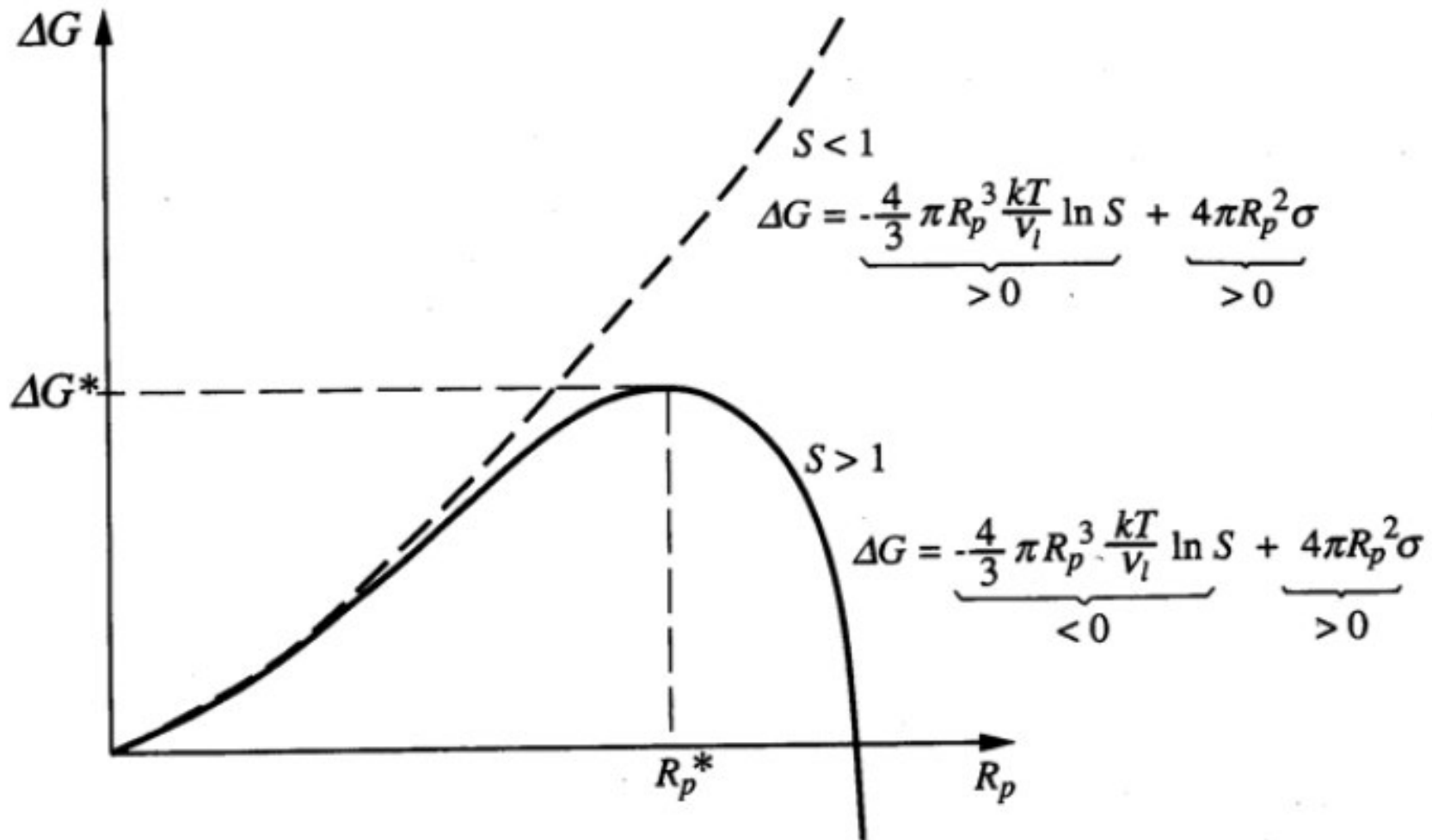


Fig. 6



**FIGURE 9.10** Gibbs free energy change for formation of a droplet of radius  $R_p$  from a vapor with saturation ratio  $S$ .

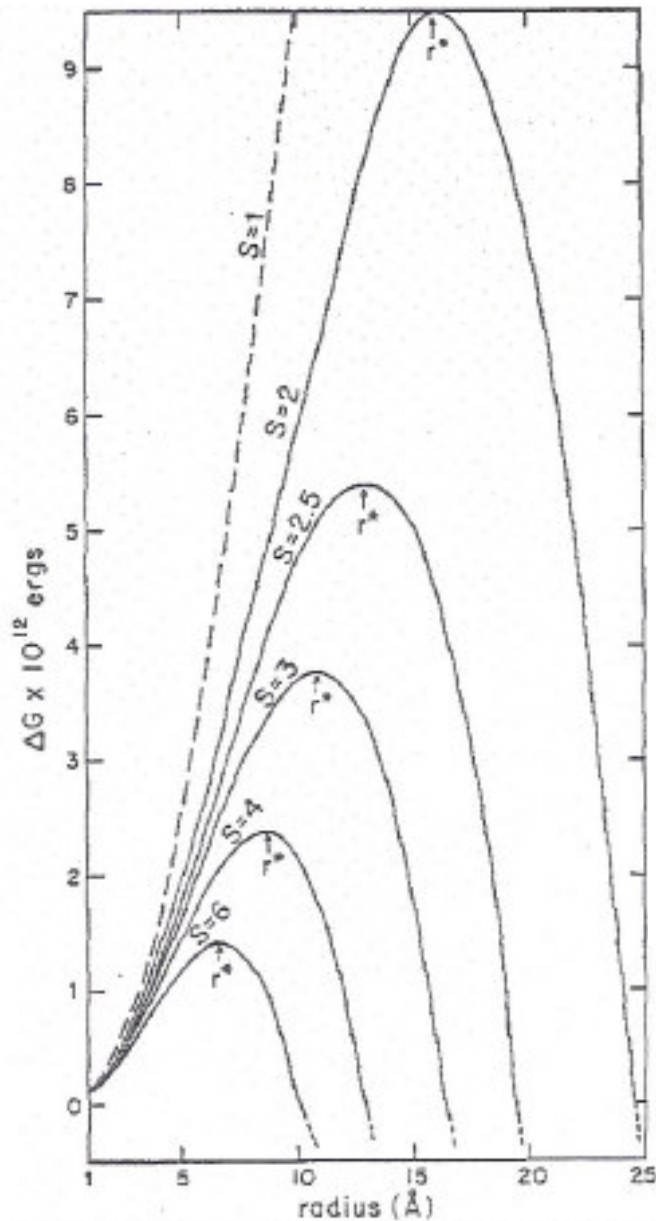


Fig. 2-III. Elevación de la energía libre  $\Delta G$  sobre el equilibrio para una superficie plana de agua pura en función del radio para varios valores de relación de saturación,  $S$ .

$$r_c = \frac{2\sigma}{R_V \rho_w T \ln S} ; S = \frac{e}{e_{sat}(\infty)}$$

Saturation ratio $S$	Critical radius $r_c(\mu m)$	number of molecules $n$
1	$\infty$	$\infty$
1.01	0.12	$2.47 \times 10^8$
1.1	0.0126	$2.81 \times 10^5$
1.5	$2.96 \times 10^{-3}$	3645
2	$1.73 \times 10^{-3}$	730
3	$1.09 \times 10^{-4}$	183
10	$5.22 \times 10^{-4}$	20

## Inclusión de una superficie curva: efecto Kelvin

$$\frac{e_s(R_p)}{e_s(\infty)} = \exp\left(\frac{2M_w \sigma_w}{RT\rho_w R_p}\right) \equiv \exp\left(\frac{A}{R_p}\right)$$

$e_s(R_p)$  = presión de vapor en la superficie de la gota

$e_s(\infty)$  = presión de vapor para el agua plana

$R_p$  = radio de la gota

$M_w$  = peso molecular del agua

$\sigma_w$  = tensión superficial

$\rho_w$  = densidad de la gota

$T$  = Temperatura

$R$  = constante de los gases

# Tipos de Aerosoles

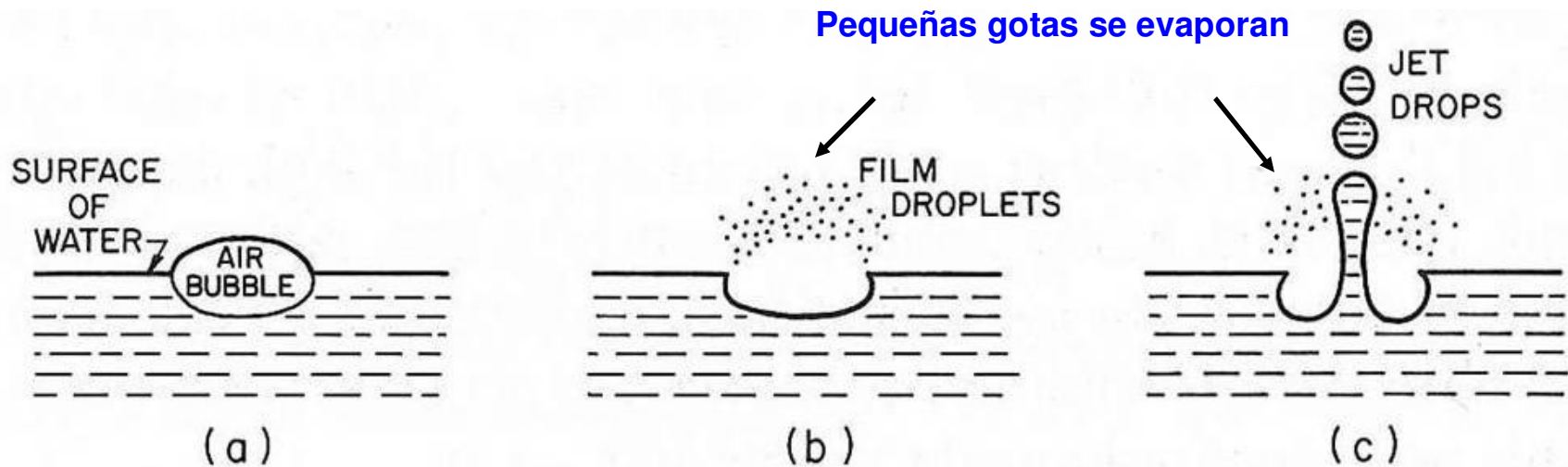
**Aitken:** D: menores a  $10^{-7}$  m ( $< 0.1 \mu\text{m}$ )

**Origen:** Combustión  
Contaminación industrial

**Grandes:** D:  $10^{-7}$  a  $10^{-6}$  m ( $0.1 - 1 \mu\text{m}$ )

**Gigantes:** D: Mayores a  $10^{-6}$  ( $> 1 \mu\text{m}$ )

**Origen:** polvo arrastrado por el viento  
Polen y esporas de las plantas  
sal generada por spray



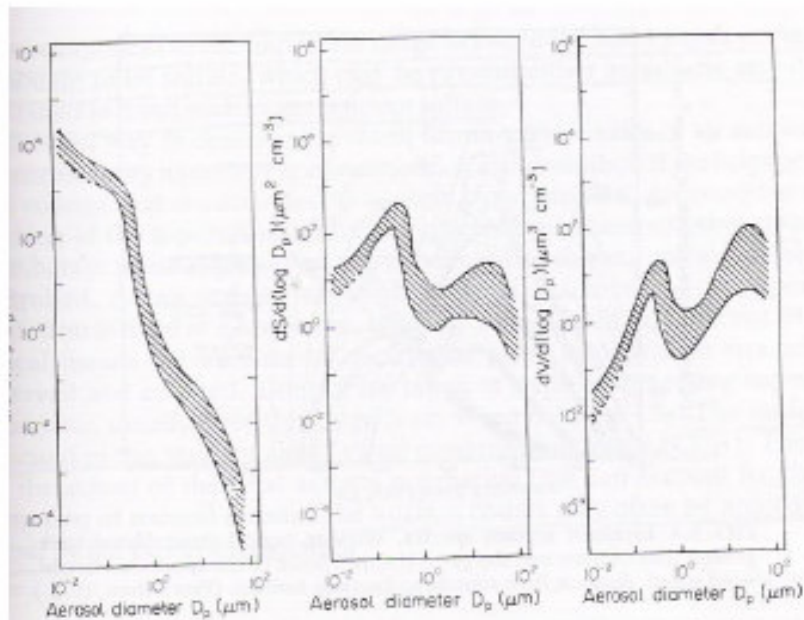


FIG. 6.3. Size distributions of aerosol particles measured by airplane in the lower troposphere. The same data are plotted three ways. The envelopes indicate the variability of the observations. (Adapted from Hobbs *et al.*, 1985.)

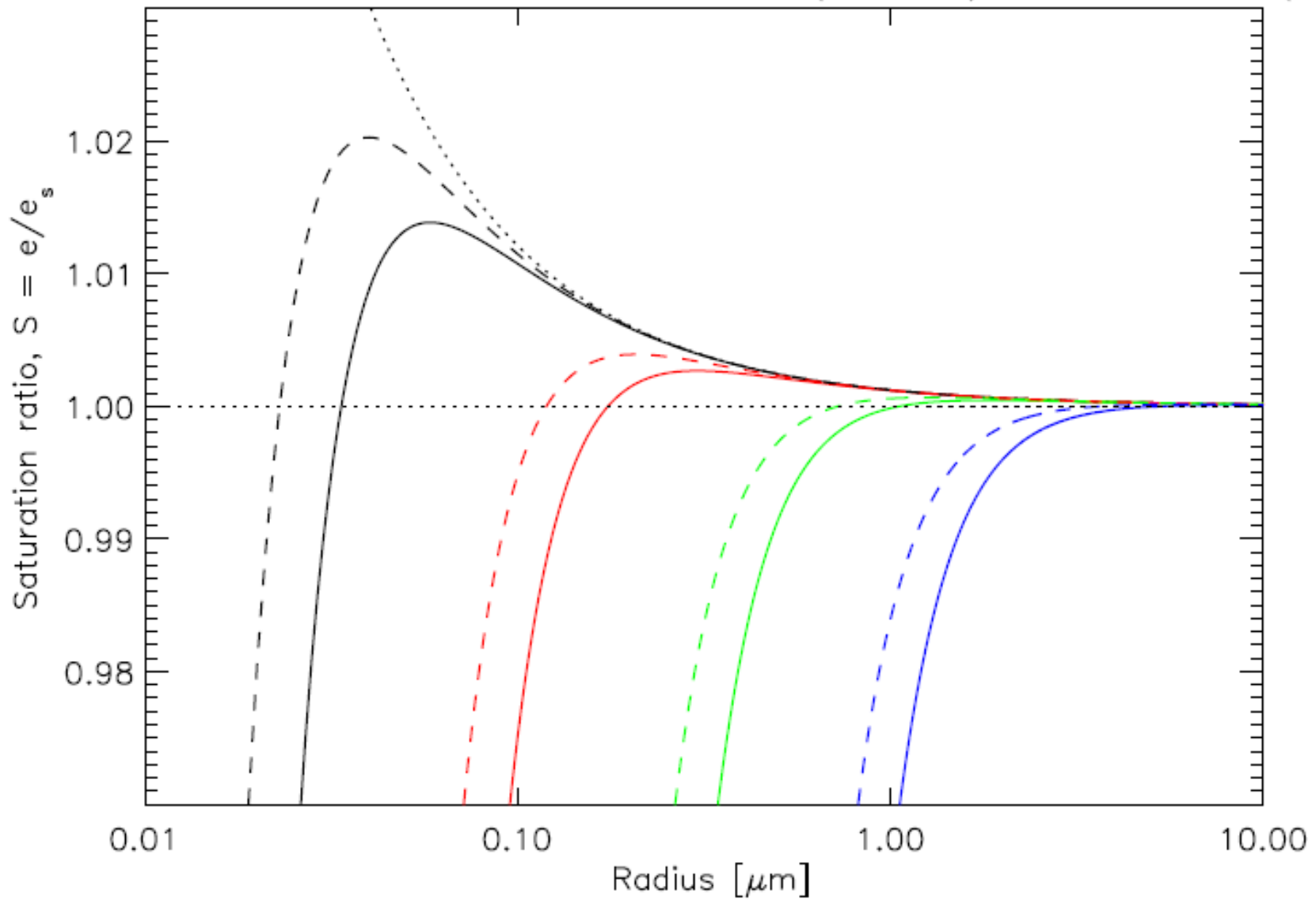
Estimated world-wide aerosol production<sup>a</sup> due to natural phenomena and human activities in 1968<sup>b</sup>

Source	Aerosol diameter	
	> 5 μm	< 5 μm
<b>(a) Natural phenomena</b>		
Sea-salt	500	500
Gas-to-particle conversion	100	470
Windblown dust	250	250
Forest fires	30	5
Meteoric debris	10	0
Volcanoes (highly variable)	?	25
Total	890(+ ?)	1250
<b>(b) Human activities (1968)</b>		
Gas-to-particle conversion	25	250
Industrial processes	44	12
Fuel combustion (stationary sources)	34	10
Solid waste disposal	2	0.5
Transportation	0.5	2
Miscellaneous	23	5
Total	128.5	279.5

<sup>a</sup> In units of teragrams per year.

<sup>b</sup> From W. H. Matthews *et al.*, Eds., "Man's Impact on the Climate," MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1971.

Koehler curves for ammonium sulfate (dashed) and sea salt (solid)





## Saturación para una superficie plana

### Ecuación de Clausius-Clapeyron

$$\frac{de_s}{dT} = \frac{Le_s}{R_v T^2}$$

$e_s$  = presión vapor Saturación

$L$  = calor latente de vaporización  
o sublimación

$T$  = Temperatura

$R_v$  = Constante de aire húmedo

