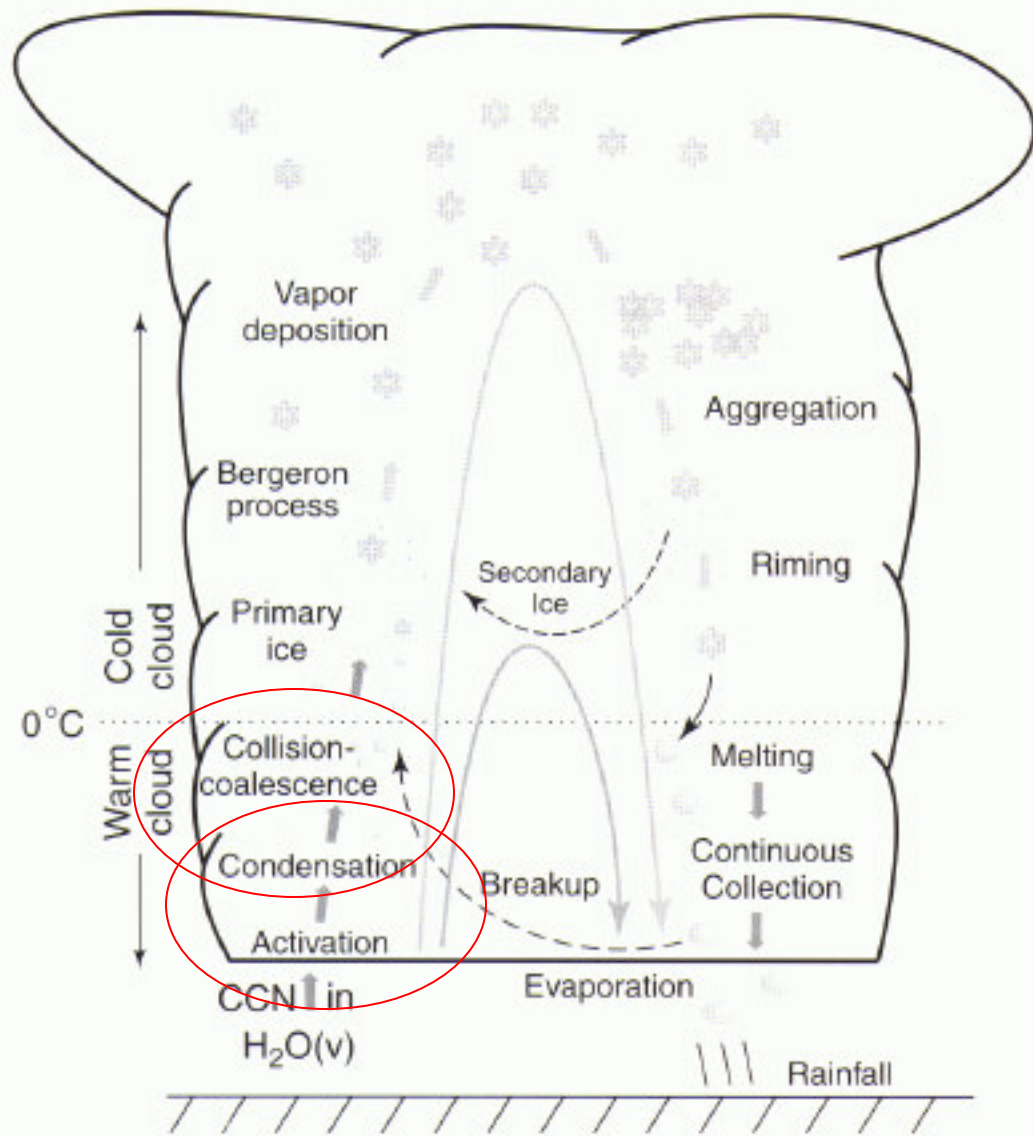


# Convección y Microfísica de Nubes

Tema: Microfísica

1º Cuatrimestre 2010

Paola Salio



**Figure 7** Summary depiction of the microphysical processes operating during the formation of precipitation in a deep convective cloud.

# Formación de Cristales de Hielo

## Método #1: Nucleación Homegénea

Involucra a gotas sobreenfriadas a temperaturas menores a 0°C que **no** contienen partículas asociadas a los núcleos glaciógenos (ej., polvo, aerosoles, bacterias)

### Resultados de Laboratorio: Nucleación espontánea

- Ocurre a -36°C para gotas de radio entre 20 µm y 60 µm
- Ocurre a -39°C cercano a 1 µm
- **Solo ocurre en nubes muy altas!!!**

La barrera de energía a superar es para un germen esférico

$$\Delta G^*_{wi} = \frac{16\pi\sigma_{wi}^3}{[\rho_i R_v T \ln S]}$$

$$\sigma_{wi} = 24 \text{ erg / cm}^2$$

$$\sigma_{vi} = 106 \text{ erg / cm}^2$$

$$\sigma_{wv} = 76 \text{ erg / cm}^2$$

$$\Delta G^*_{wi} = \frac{16\pi\sigma_{wi}^3}{3\left[\rho_i L_f \frac{T_0 - T}{T_0}\right]}$$

Por esto....

**No existe posibilidad de formación de germen de hielo a las velocidades observadas en la realidad.**

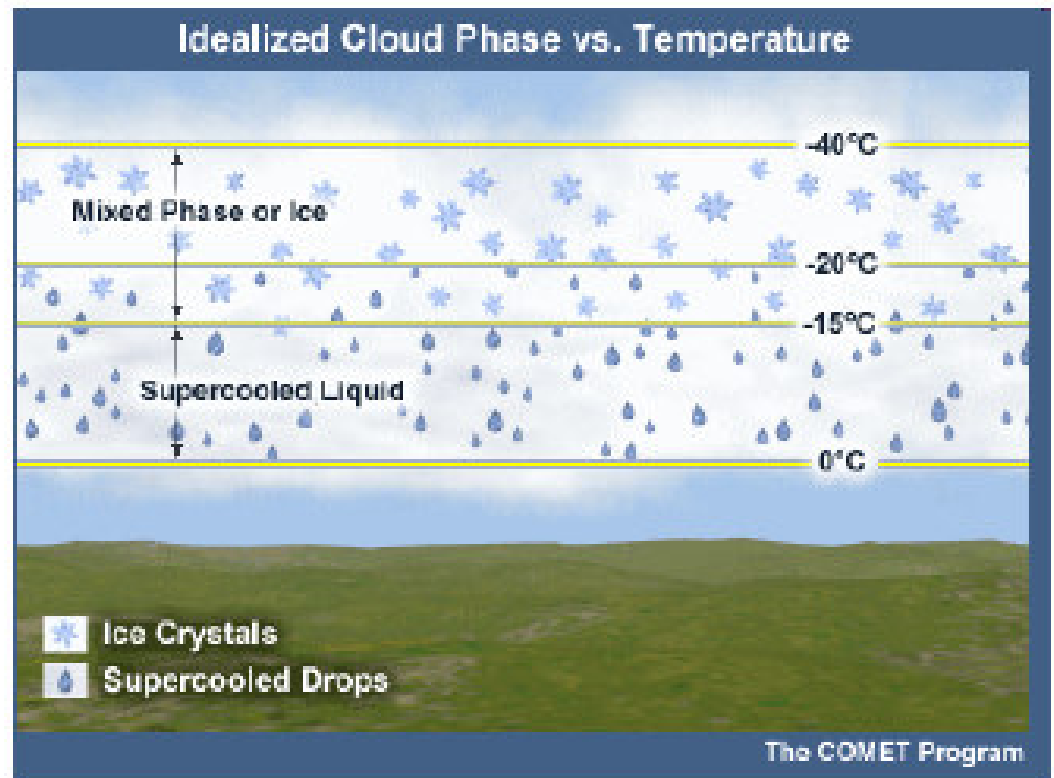
Por esto....surgen las siguientes preguntas en base a las observaciones...

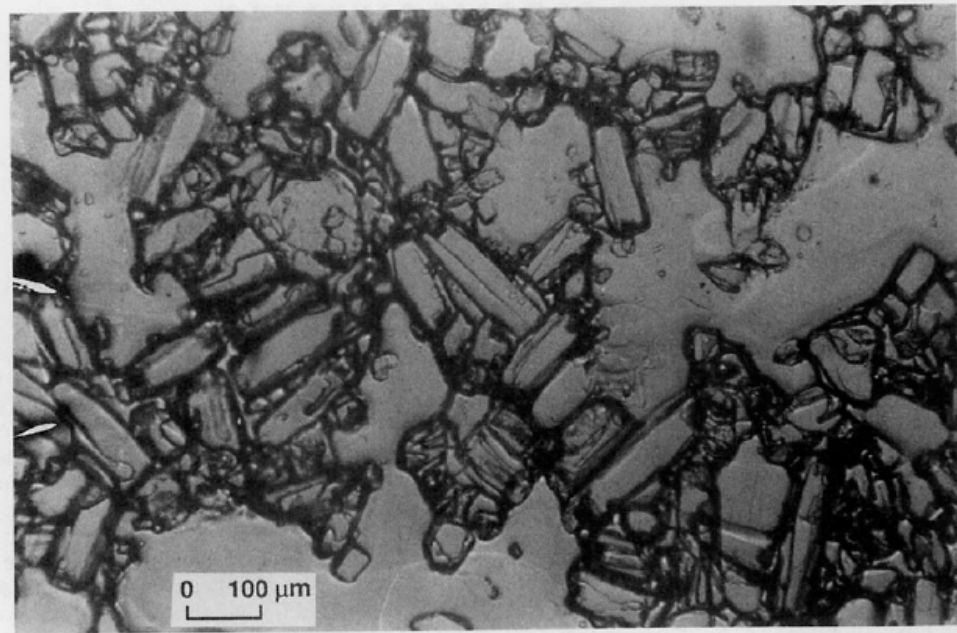
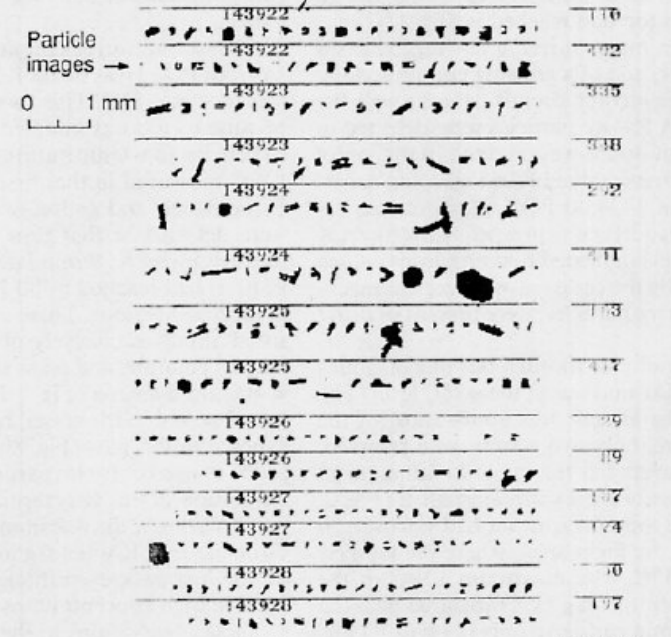
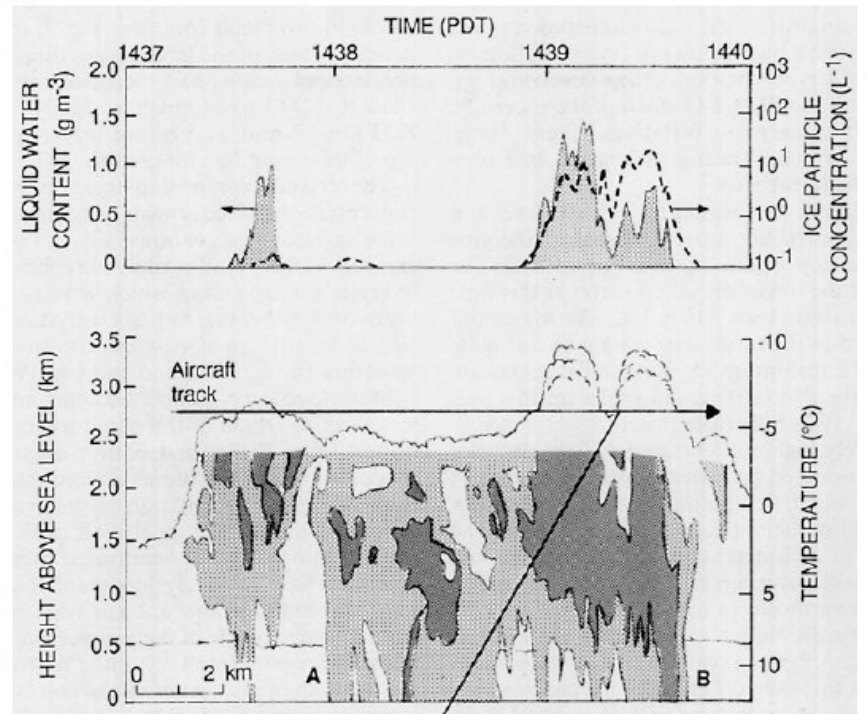
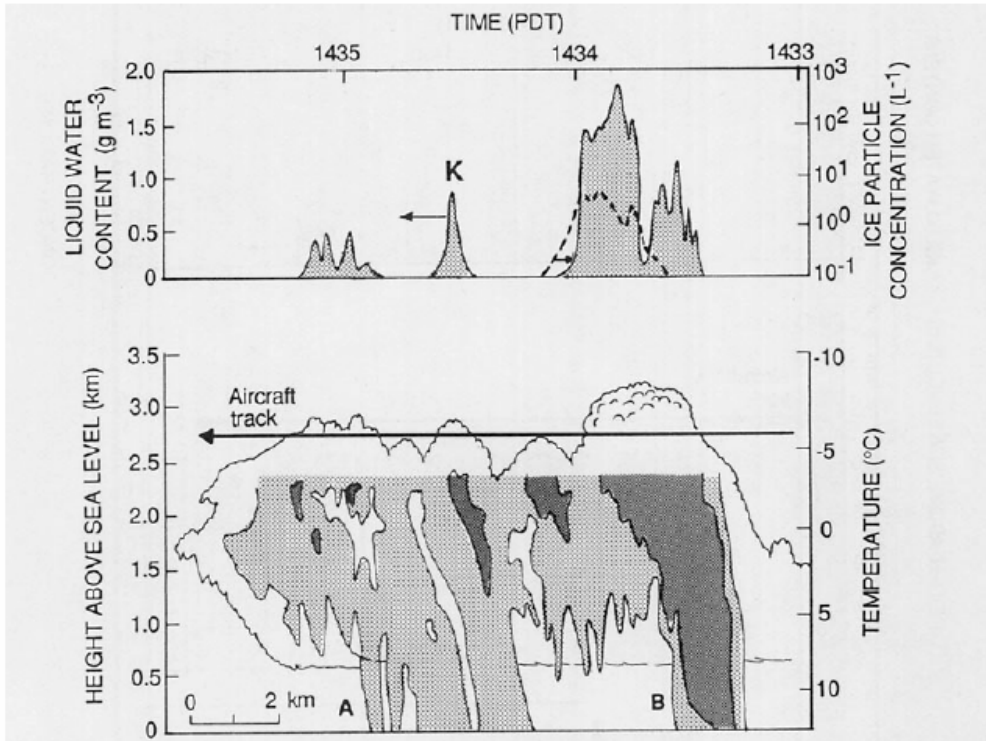
Cómo se observan cristales entre 0°C y -35°C?

Cómo se obtienen los copos de nieve?

As observaciones muestran entre 0 y -15°C 1 cristal por cada 10<sup>6</sup> gotas de H<sub>2</sub>O

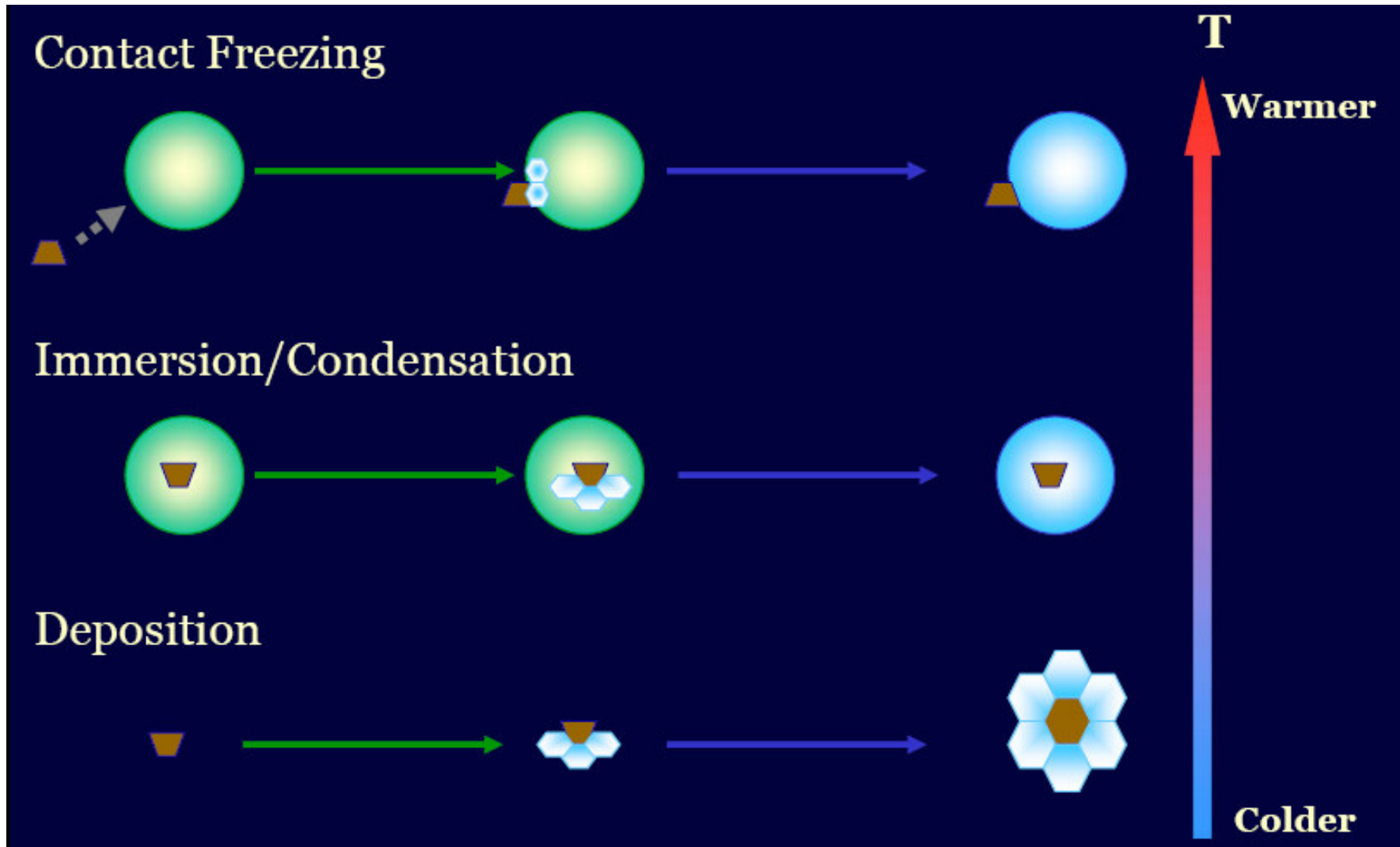
Existen solo sobresaturaciones de orden del 1% mientras es posible observar sobreenfriamientos de -15C





# Formación de Cristales de Hielo

## Método #2: Nucleación Heterogénea



# Formación de Cristales de Hielo

## Método #2: Nucleación Heterogénea

### Common IN and their Activation Temperatures

Substance	Activation T (°C)	Prevalence
leaf bacteria	-2.9	found in decaying leaf matter, possibly a prevalent source of IN
silver iodide	-4	used for artificial cloud seeding
kaolinite	-9	common clay mineral
copper sulphide	-7	pollutant
sodium chloride	-8	sea water
volcanic ash	-13	common aerosol
vermiculite	-15	common clay mineral

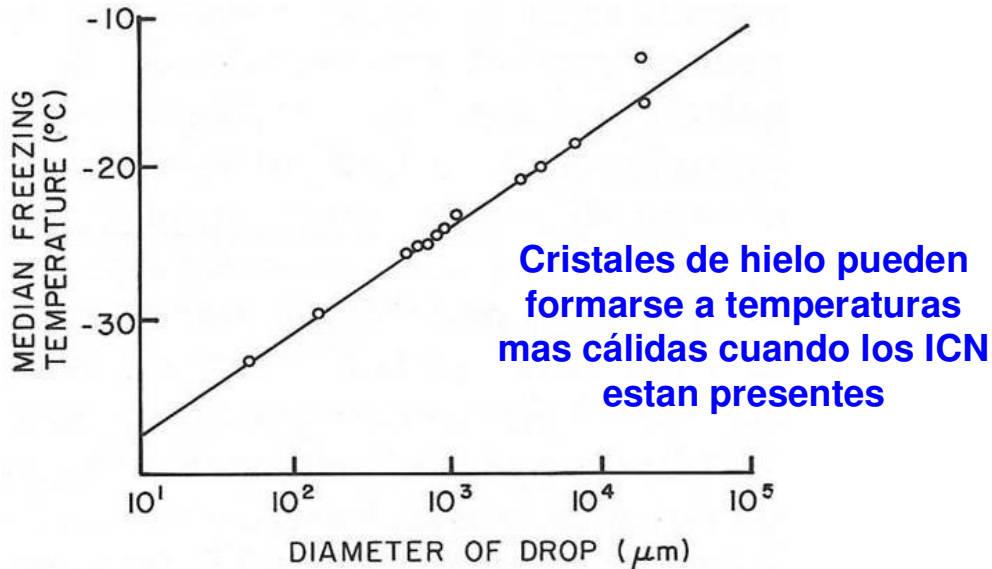
**Existe 1 núcleo glaciógeno por cada litro de aire mientras existen  $10^5$  núcleos de condensación por litro**

# Formación de Cristales de Hielo

## Método #2: Nucleación Heterogénea

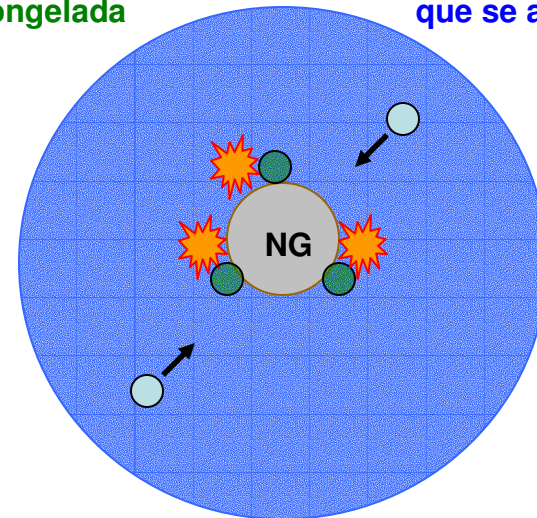
Involucra gotas sobre-enfriadas a temperaturas por debajo de 0°C que contienen una partícula insoluble como núcleo glaciónico

Gotas sobre-enfriadas que contienen un ICN



Molécula de agua congelada

Molécula de agua que se aproxima



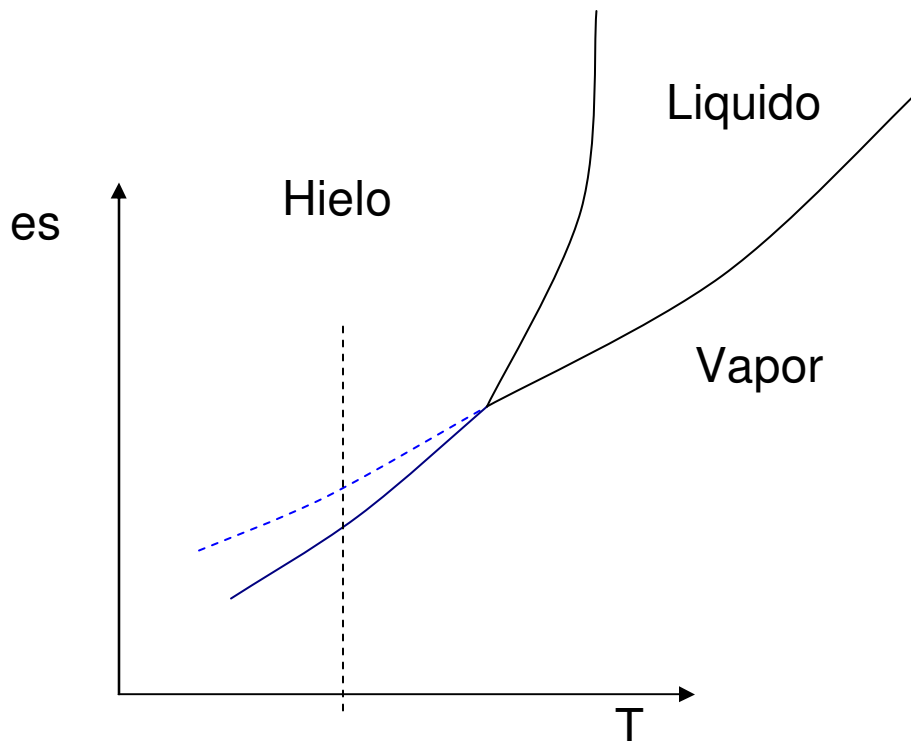
Liberación de calor latente



# Crecimiento de Cristales de Hielo

## Método #1: Depósito de Vapor. Bergeron - Findensen

Involucra moléculas de vapor y la presencia de un núcleo glaciógeno en un entorno sobresaturado respecto del hielo



es sobre-enfriado > es hielo

En una fase mixta de vapor agua sobreenfriada y hielo se forma un gradiente de presión del agua hacia el hielo.

Haciendo que crezcan las partículas de hielo. El vapor se desplaza hacia las partículas de hielo y las gotas empiezan a evaporar

# Crecimiento de Cristales de Hielo

## Método #1: Depósito de Vapor

Involucra moléculas de vapor y la presencia de un núcleo glaciógeno en un entorno sobresaturado respecto del hielo

$$\frac{dm}{dt} = \frac{4\pi C (S_i - 1)}{[F_K + F_D]}$$

$m$  = masa de cristal de hielo

$S$  = super-saturación del hielo

$C$  = capacidad eléctrica

(basado en la forma del Nucleo glaciógeno)

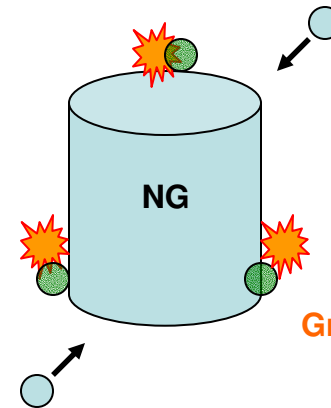
$F_K$  = tasa de difusión de calor

$F_D$  = tasa de difusión de vapor

Crecimiento del cristal depende de :

1. Temperatura del aire
2. Humedad del aire
3. Forma del núcleo glaciógeno

Molécula de Vapor  
Sublimando sobre el Núcleo



# Crecimiento de Cristales de Hielo

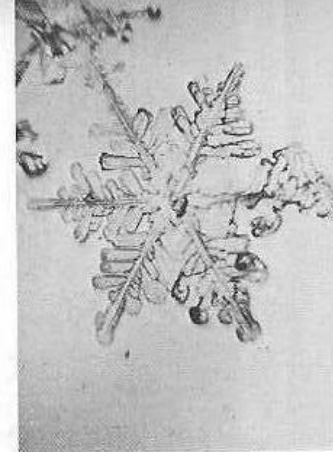
## Método #1: Depósito de Vapor

- La forma preferida en el crecimiento del cristal depende de la temperatura del aire
- Esta es la forma mas común de crecimiento

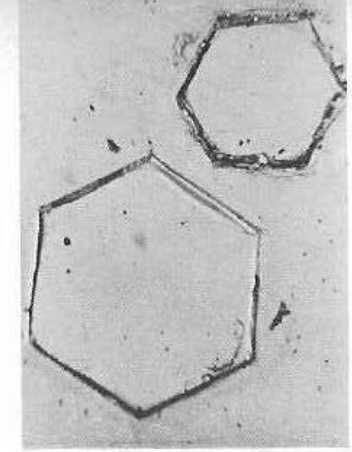
Variations in the basic habits of ice crystals with temperature

Temperature (°C)	Basic habit	Types of crystal at slight water supersaturation
0 to -4	Platelike	Thin hexagonal plates
-4 to -10	Prismlike	Needles (-4 to -6°C) Hollow columns (-5 to -10°C)
-10 to -22	Platelike	Sector plates (-10 to -12°C) Dendrites (-12 to -16°C) Sector plates (-16 to -22°C).
-22 to -50	Prismlike	Hollow columns

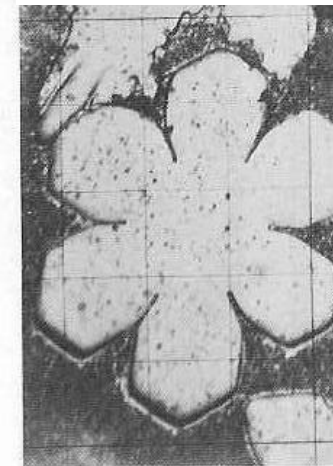
Dendrite



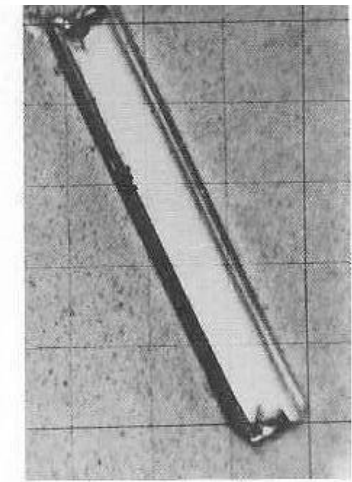
Hexagonal Plate



Sector Plate



Needle / Column



**Cristales  
Observados en Laboratorio**

# Crecimiento de Cristales de Hielo

## Método #1: Depósito de Vapor

$$\frac{dm}{dt} = \frac{4\pi C (S_i - 1)}{[F_K + F_D]}$$

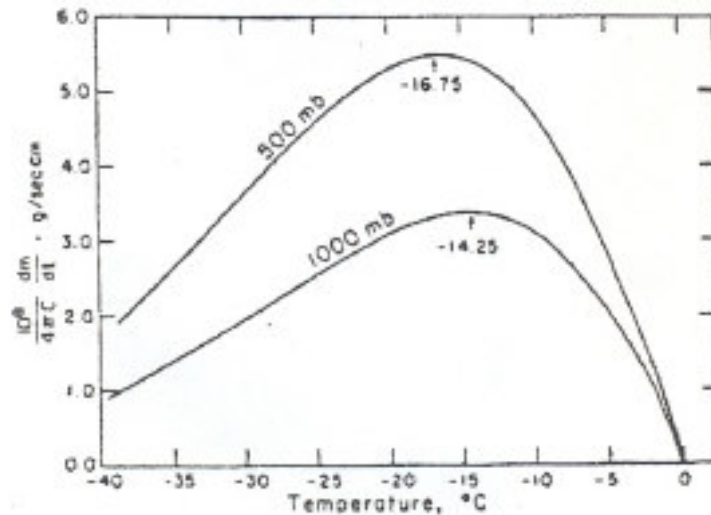


FIG. 8.2. Normalized ice crystal growth rate as a function of temperature. (from Byers, 1965.)

Variación inversa con la presión

Variación de la tasa con la temperatura

Este tratamiento no explica los crecimientos entre uno y otro tipo de cristal, para ello se debe recurrir a una ecuación que tenga en cuenta la estructura molecular

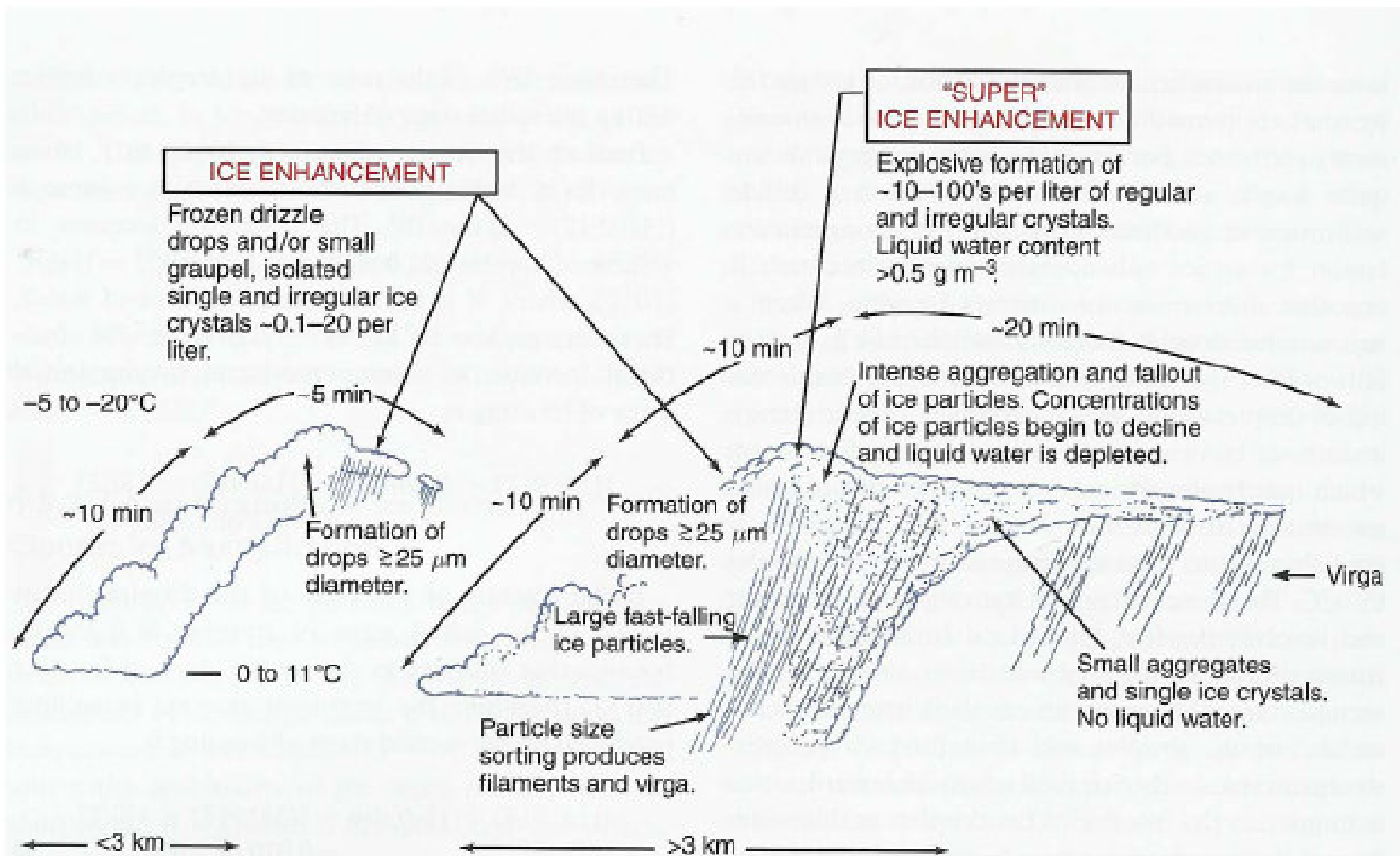


Fig. 6.35 Schematic of ice development in small cumuliiform clouds. [Adapted from *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 117, 231 (1991). Reproduced by permission of The Royal Meteorological Society.]

# Crecimiento de Cristales

## Método #2: Acreción de gotas sobre-enfriadas Rimming

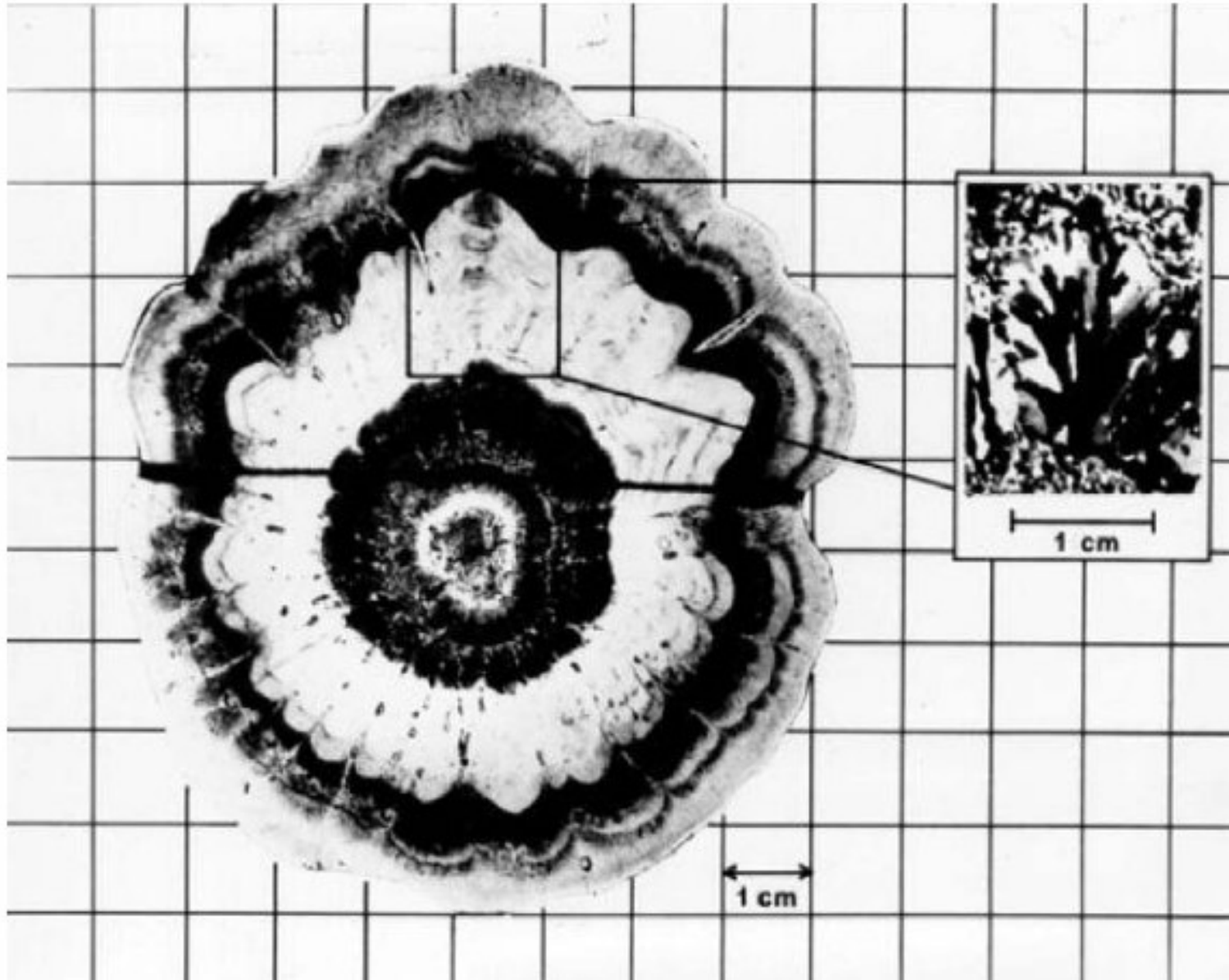
- Los cristales crecen por colisión con gotas sobre-enfriadas que se congelan a medida que hacen contacto con el cristal.
- Mecanismo eficiente en la formación de graupel y granizo
- El graupel crece por congelación de gotitas mientras que el granizo crece por congelación de una película de agua

$$\frac{dm}{dt} = EM \pi R^2 \Delta U$$

$$\Delta U = v_{Tcopo} - v_{TCristales}$$

Tasas de crecimiento del P& K







# Crecimiento de Cristales

## Método #3: Agregación

- Cristales de hielo crecen por colección y adherencia con otros cristales, esto tiende a formar copos de nieve esponjosos
- Principalmente causado por la diferente velocidad de caída de los distintos cristales asociado a su forma
- Mecanismo eficiente en  $T < -10\text{C}$



Dendritas asociadas a otras múltiples formas



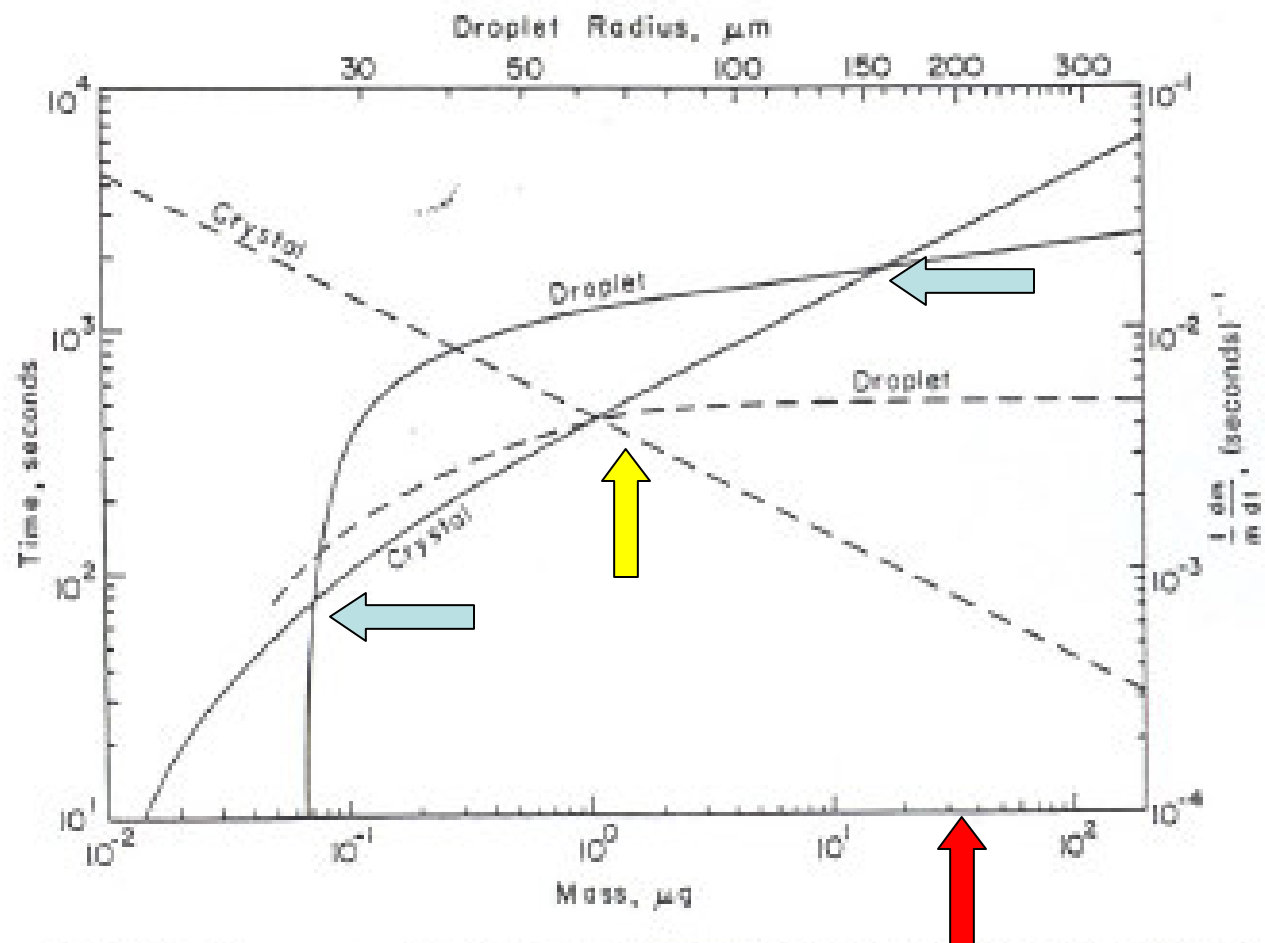


FIG. 9.8. Times required for an ice crystal and a water droplet (solid curves) to grow to the indicated mass. Top scale gives the corresponding drop radius. Dashed curves are for the rates of fractional increase of mass, referred to the scale on the right.

# Otros Procesos que controlan la formación de precipitación

# **Fragmentación:** gotas grandes que se rompen en gotas pequeñas. Ensancha el espectro y genera nuevas gotas colectoras

# **Fragmentación de partículas de hielo:** siembra de embriones de hielo de niveles mas altos hacia niveles bajos.

# **Fusión del hielo:** a temperaturas superiores a 0°C

# **Evaporación de gotas por debajo de la base de la nube:** fuerte enfriamiento, generación de vapor de agua

# Distribuciones de Gotas de LLuvia

## Espectro DSD:

- La mayoría de las gotas son de tamaños pequeños, solo unas pocas pueden superar los 5 mm
- La ley sigue una distribución exponencial para gotas de diámetro superior a 1 mm. Ley de Marshall y Palmer

$$N(D) = N_0 e^{-\Lambda D}$$

D = diámetro de la gota (mm)

N(D) = número en función del diámetro

$N_0$  = ordenada al origen

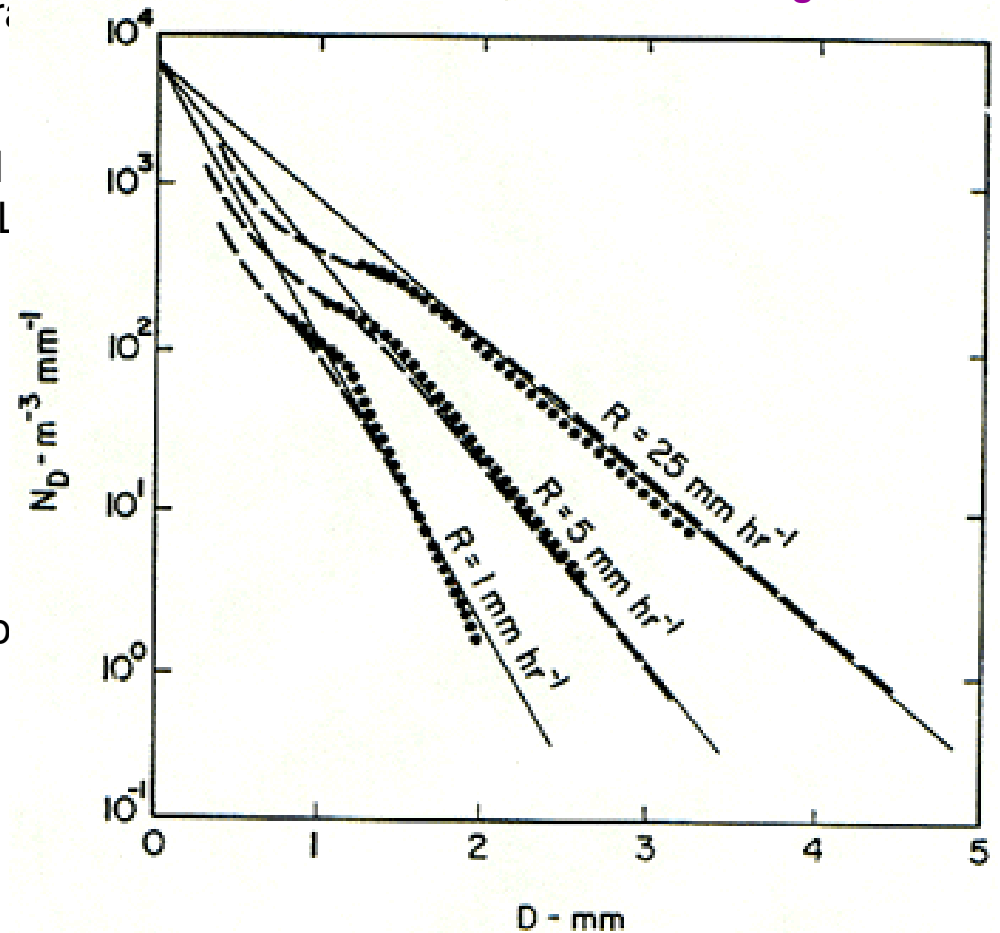
$\Lambda$  = pendiente

$$\Lambda = aR^{-b}$$

R = tasa de lluvia (mm/hr)

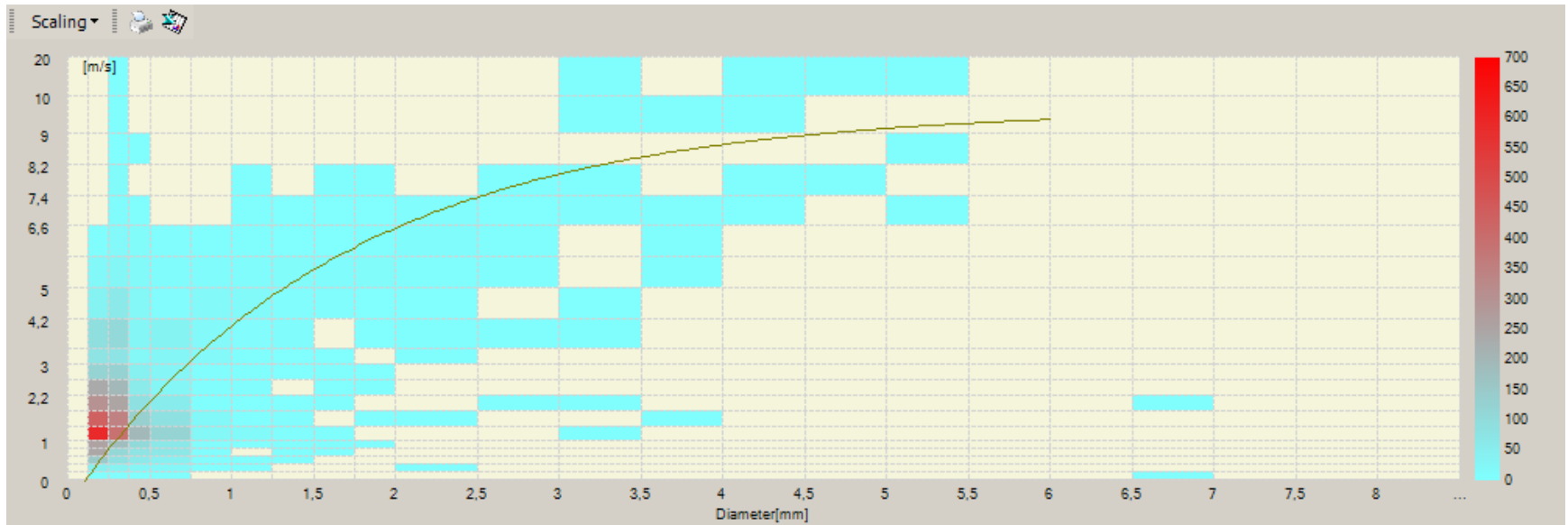
a, b = parametros de ajuste

Distribución de tamaños de gotas

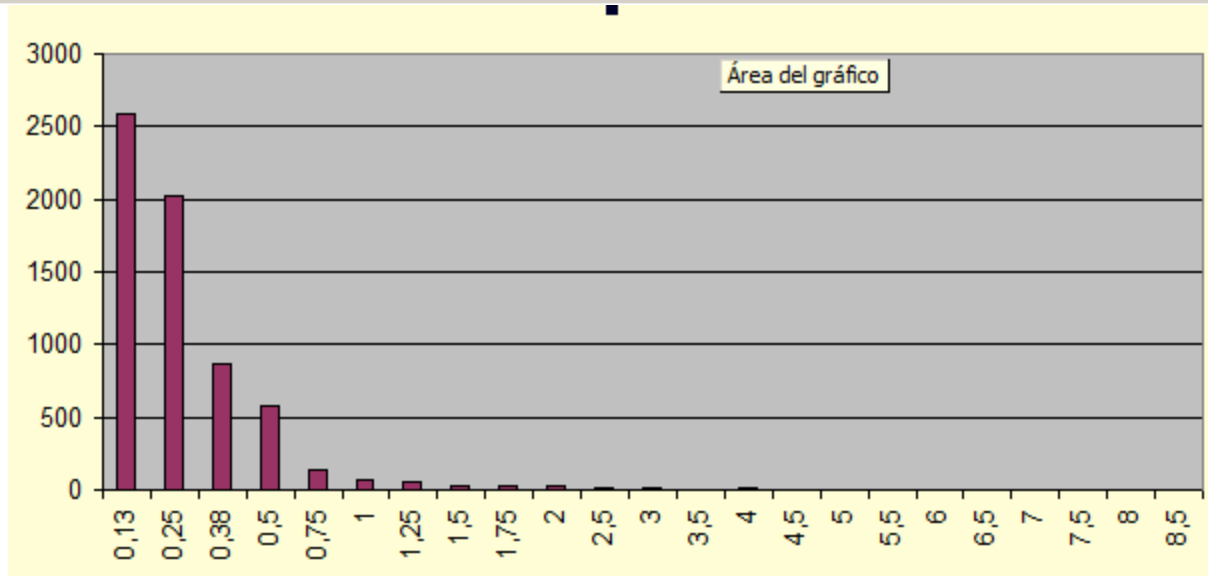


# Distribuciones de Gotas de LLuvia

## Ejemplo local

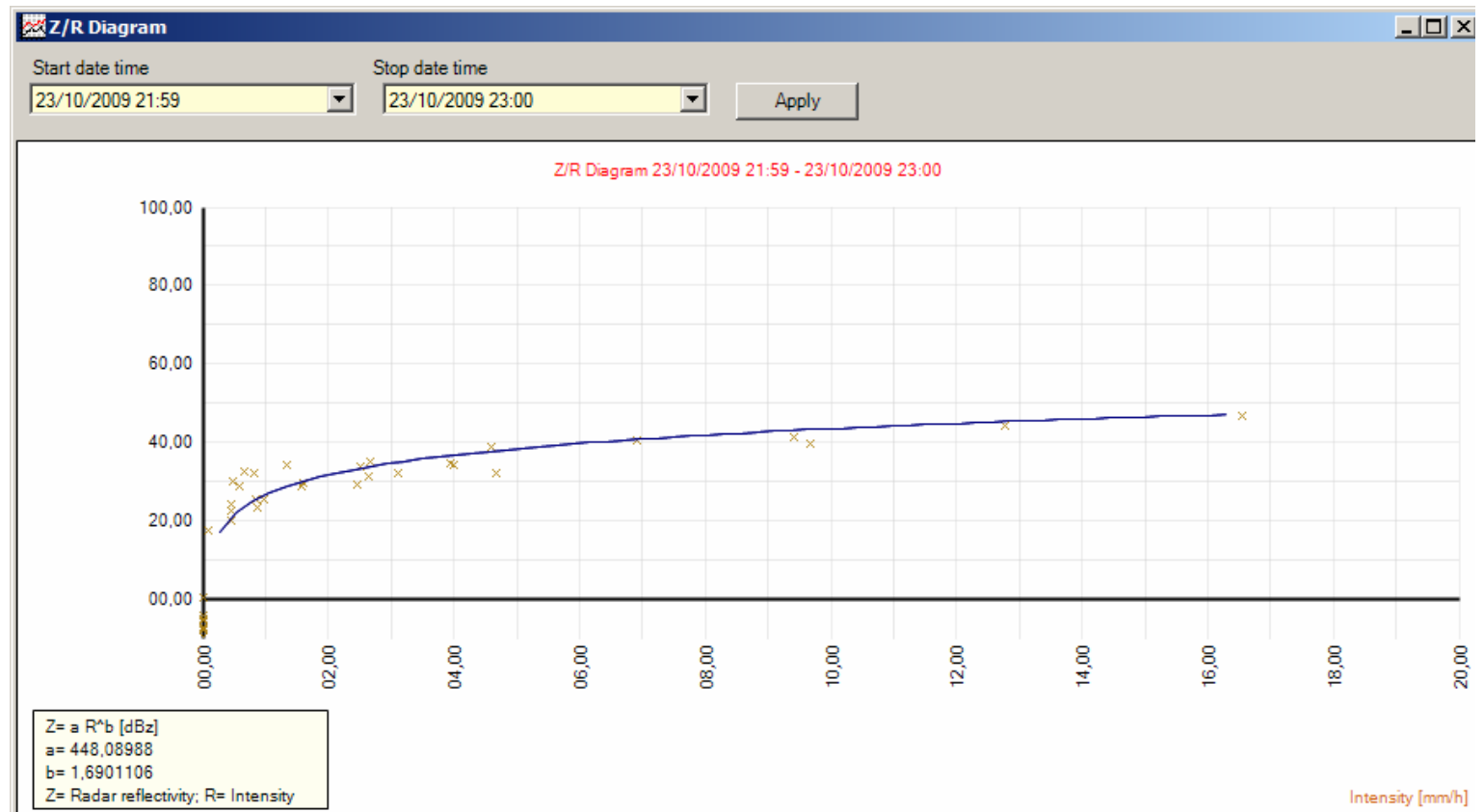


23-10-2009 Buenos Aires

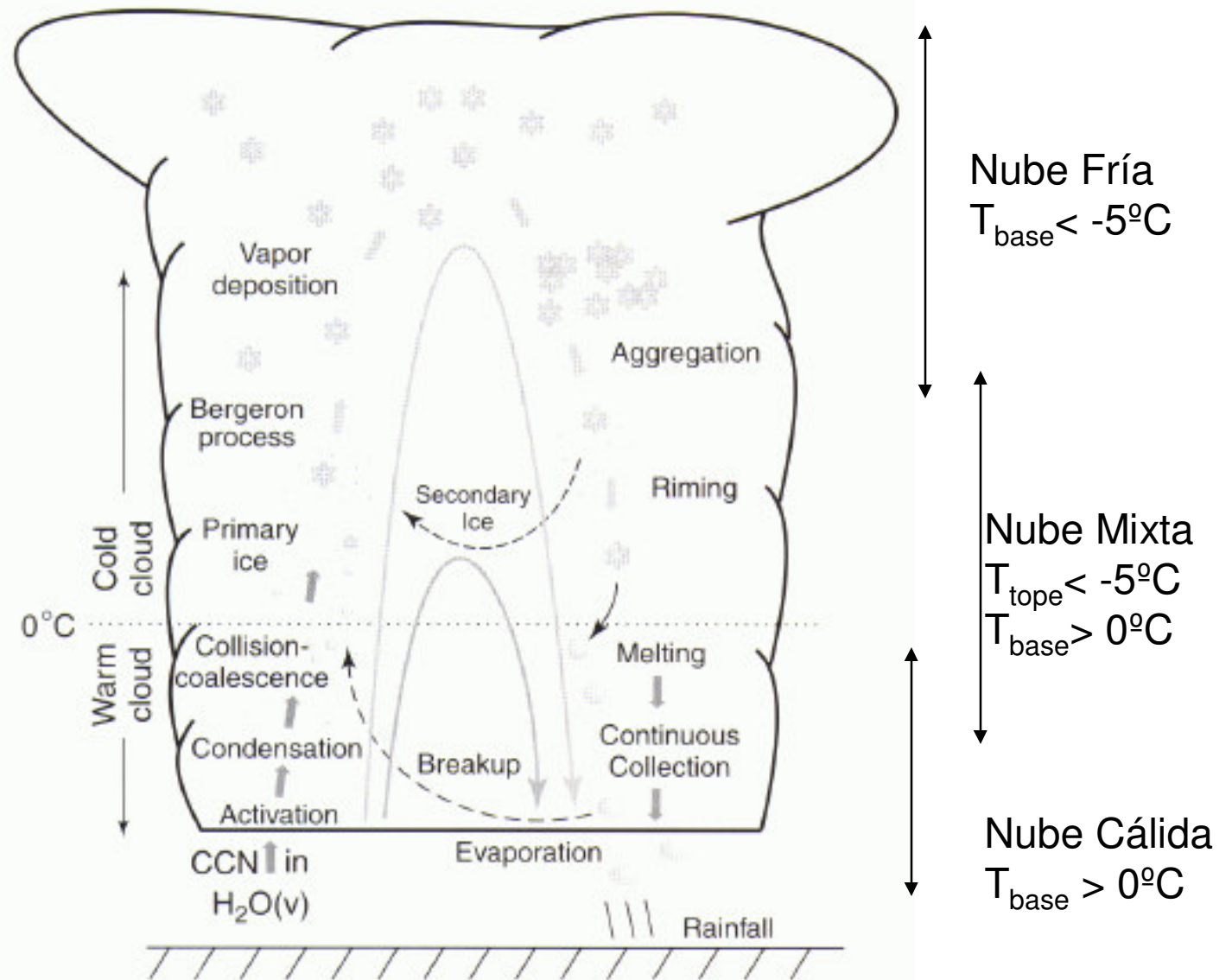


# Distribuciones de Gotas de LLuvia

## Otras variables



El dominio de cada proceso depende de la LWC, T tope de la nube y la concentración de gotas y cristales



**Figure 7** Summary depiction of the microphysical processes operating during the formation of precipitation in a deep convective cloud.