

Universidad de Chile  
Departamento de Geofísica

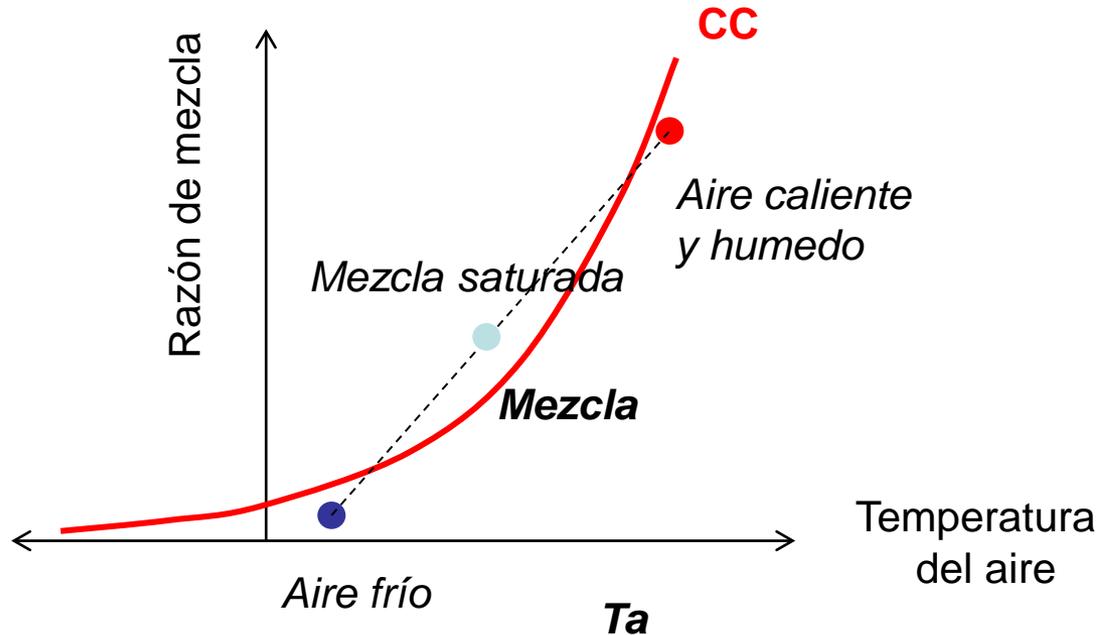
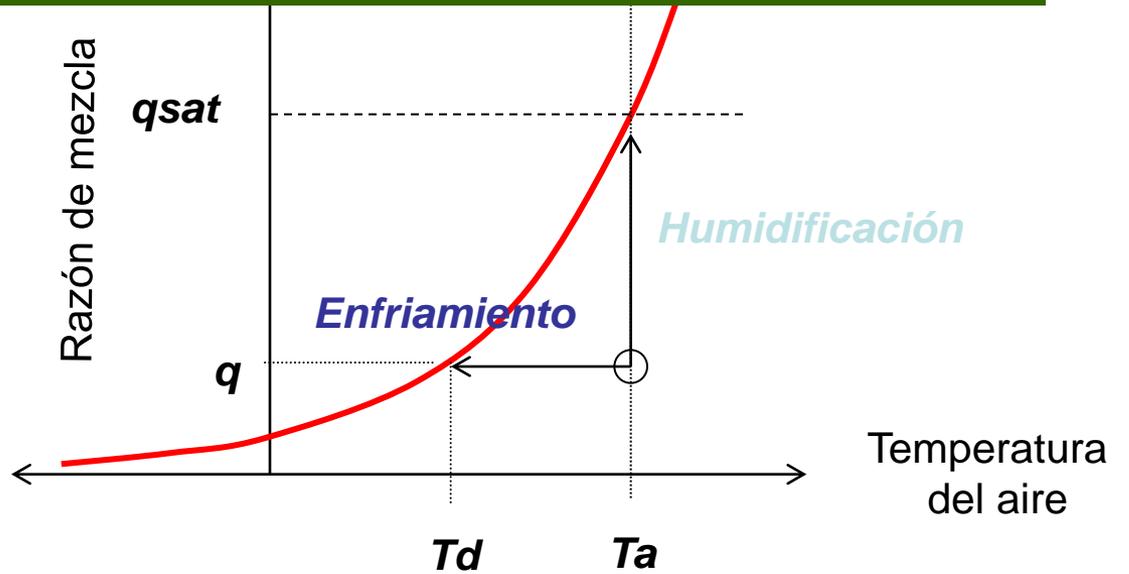
Introducción a la Meteorología y Oceanografía

# Nubes: macro- y microfísica (3H)

Prof. René Garreaud  
[www.dgf.uchile.cl/rene](http://www.dgf.uchile.cl/rene)

# Introducción a la Meteorología – Termodinámica

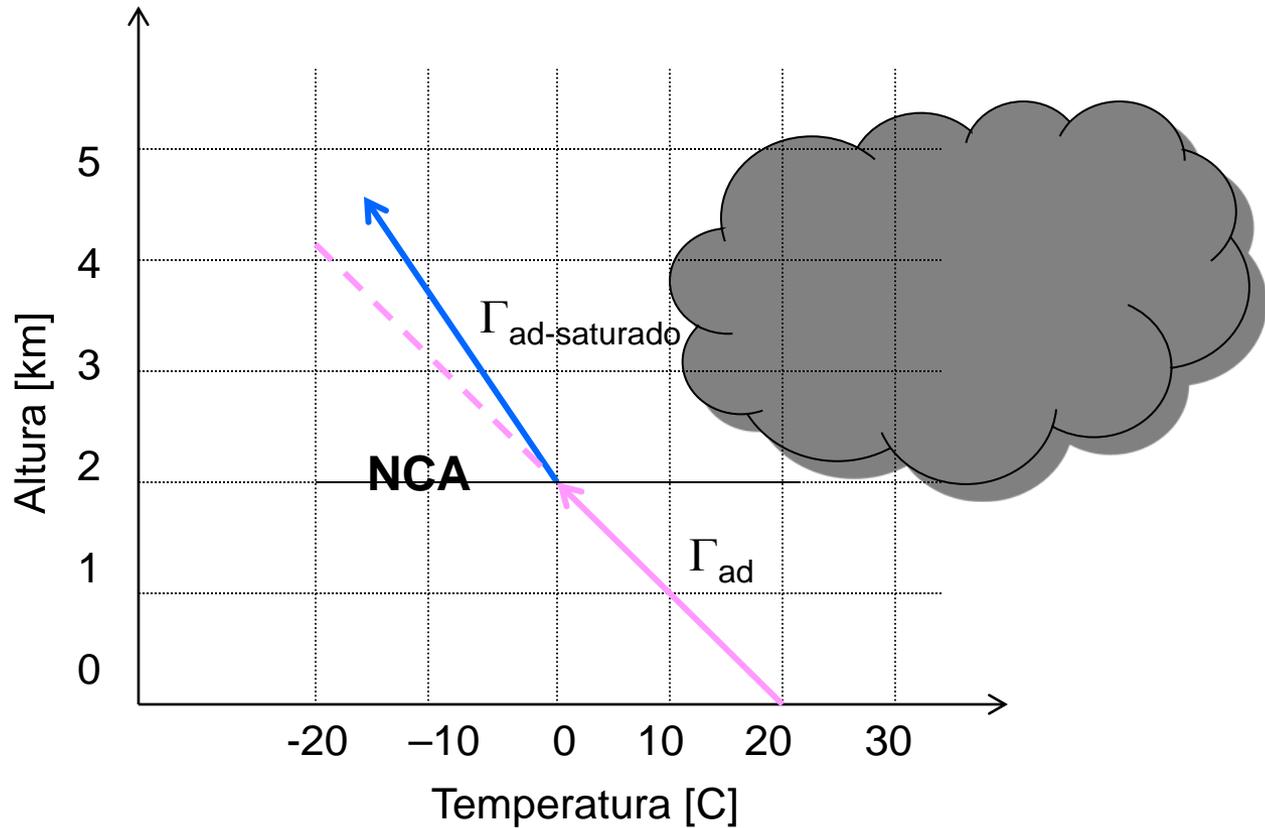
## UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud



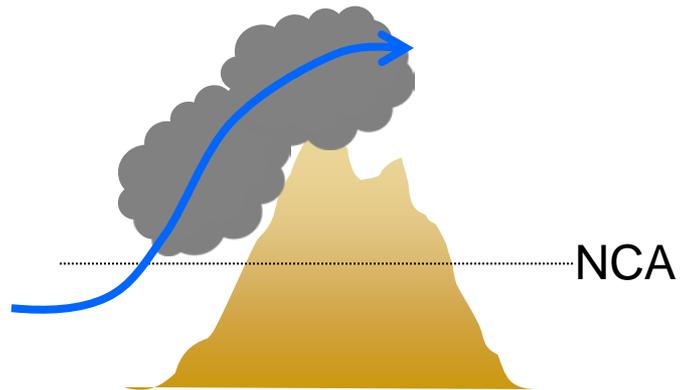


## Formación de Nubes

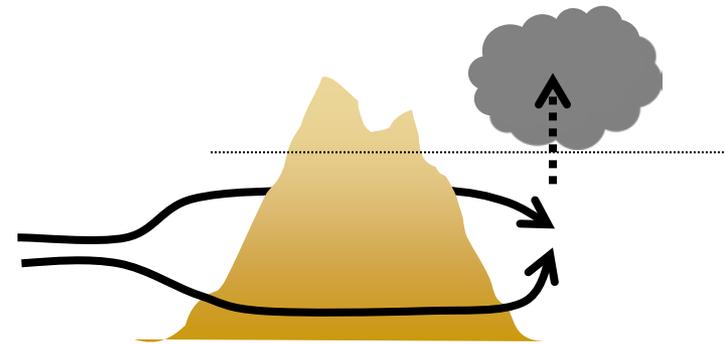
Saturación por enfriamiento  
Enfriamiento por ascenso



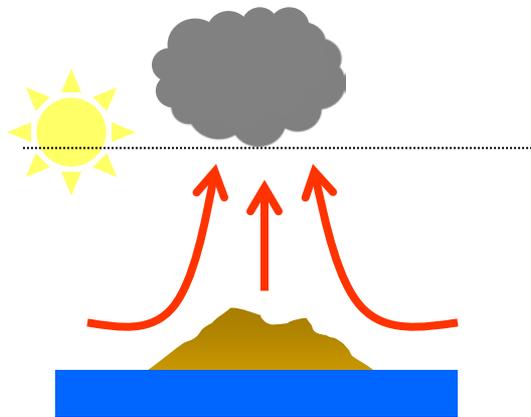
## Mecanismos de ascenso en la atmósfera



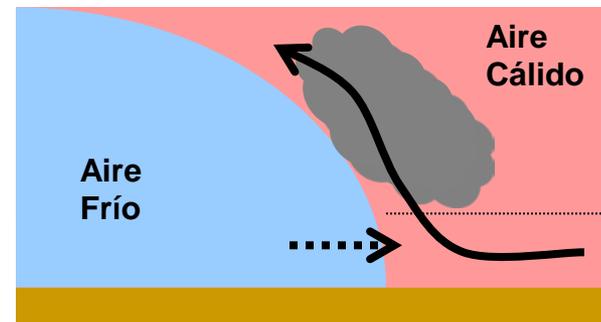
(a) Ascenso Orográfico



(b) Convergencia Orográfica



(c) Ascenso Convectivo



(d) Ascenso Frontal

# Introducción a la Meteorología – Nubes

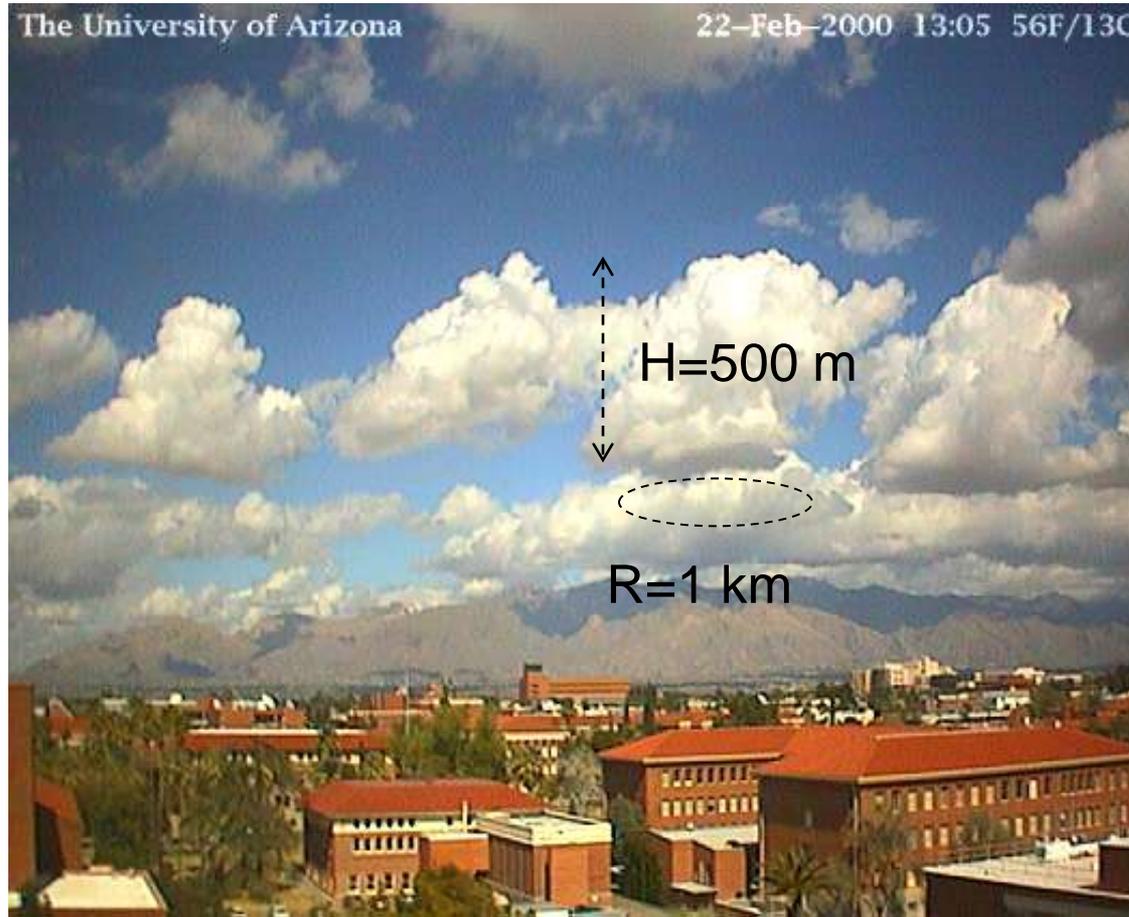
## UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud

### Mecanismos de ascenso en la atmósfera



Introducción a la Meteorología – Nubes  
UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud

¿Cuanto pesa una nube? ¿Cuánta agua tiene?  
Expresar en términos de un camión y piscina



Conc. de gotas: 100  
gotas/cm<sup>3</sup>

Tamaño de una gota:  
0.01 mm = 1e-5 m

Densidad del aire:  
1 kg/m<sup>3</sup>

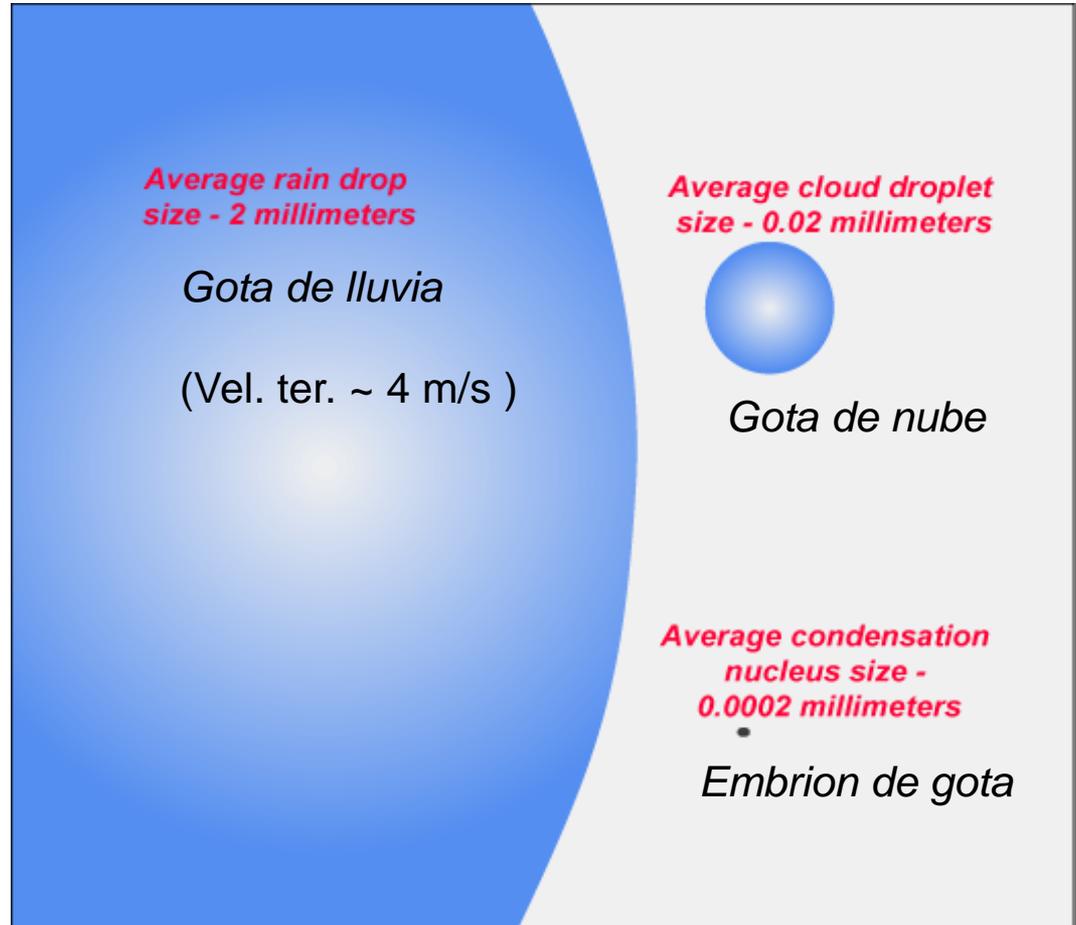
Densidad del agua:  
1000 kg/m<sup>3</sup>

# Introducción a la Meteorología – Nubes

## UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud

Regresemos al mundo microscopico...como se forman las nubes?

Una vez alcanzada la saturación comienzan a formarse “embriones” de gotas sobre los **Núcleos de Condensación** (aerosoles higroscópicos)....



# Introducción a la Meteorología – Nubes

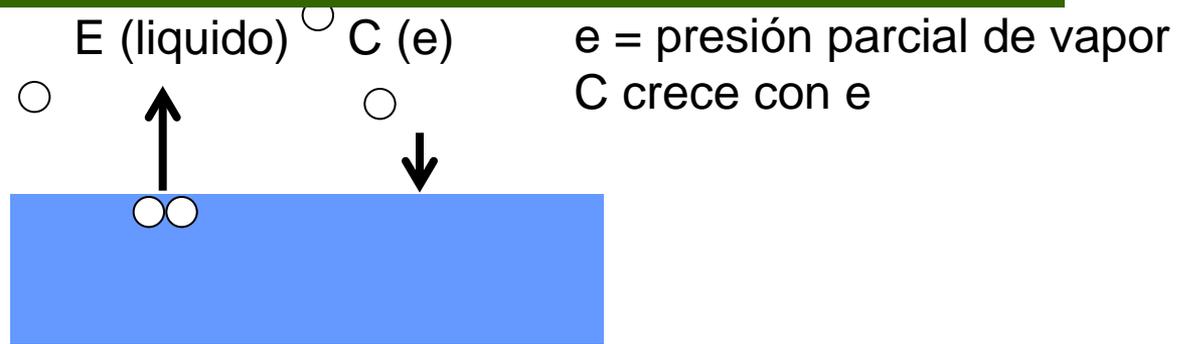
UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud

**Fuentes de  
Aerosoles  
(solo una  
facción de  
ellos actuan  
como NC)**



# Introducción a la Meteorología – Nubes

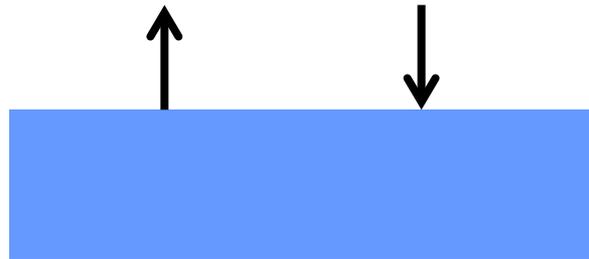
## UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud



Aire saturado c/r  
sfc. plana agua pura

$$E \text{ (liquido)} = C (e_{\text{equil}}^1)$$

$$e_{\text{equil}}^1 \equiv e_{\text{sat}}(T)$$

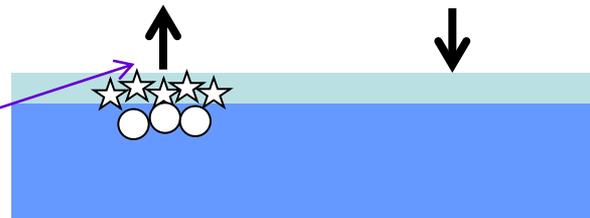


Aire saturado  
c/r sfc. plana hielo

$$E \text{ (liquido)} = C (e_{\text{equil}}^2)$$

$$e_{\text{equil}}^2 \equiv e_{\text{sat}}^{\text{ice}} < e_{\text{sat}}$$

Cubierta de hielo dificulta la evaporación (sublimación) debido a incremento en cohesión



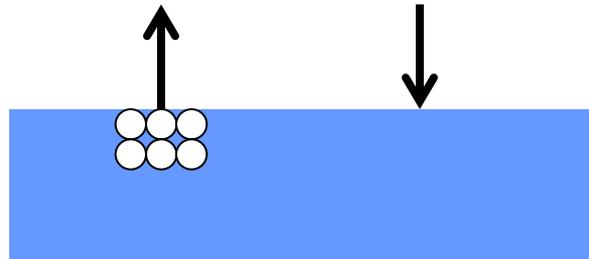
# Introducción a la Meteorología – Nubes

## UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud

Aire saturado  
c/r sfc. plana agua

$$E (\text{liquido}) = C (e_{\text{equil}}^1)$$

$$e_{\text{equil}}^1 \equiv e_{\text{sat}}(T)$$

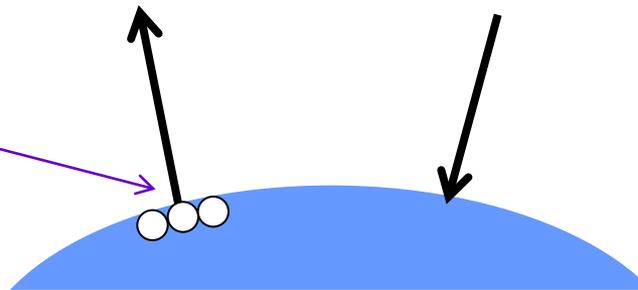


Aire saturado  
c/r gota de agua

$$E (\text{liquido}) = C (e_{\text{equil}}^3)$$

$$e_{\text{equil}}^3 \equiv e_{\text{sat}}^{\circ} > e_{\text{sat}}$$

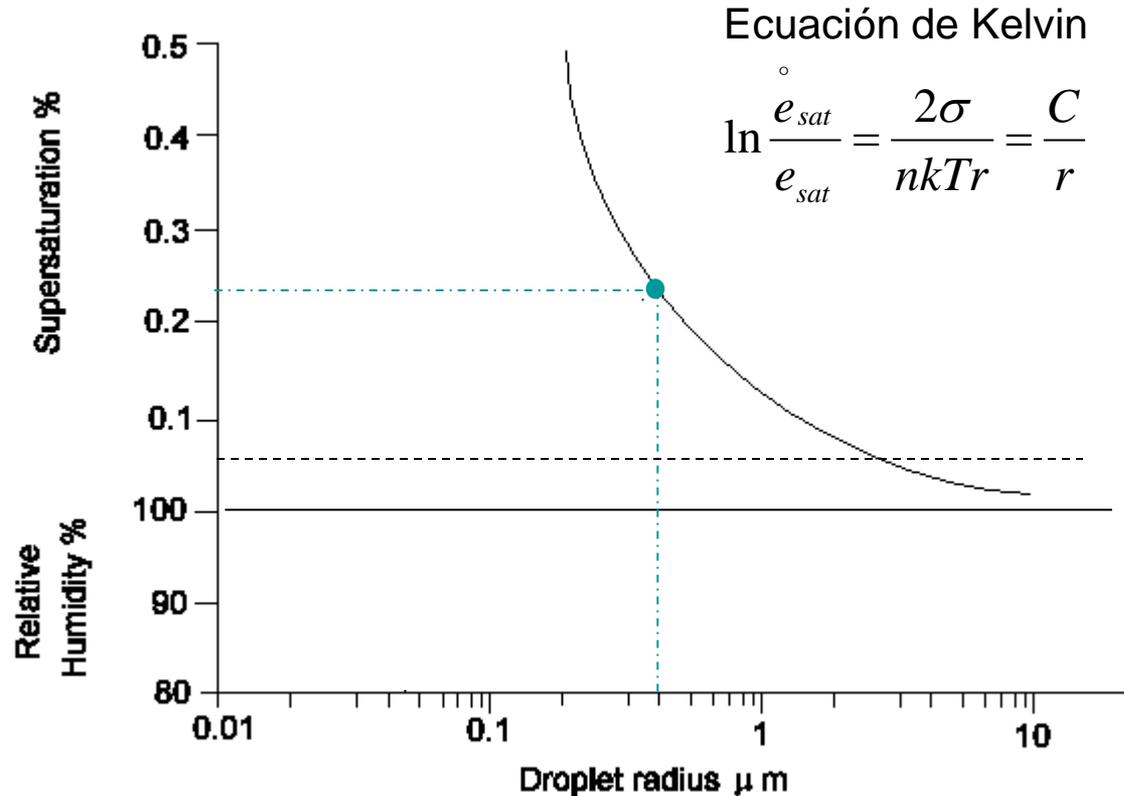
Curvatura superficial  
facilita la evaporación  
debido a la reducción de  
cohesión superficial



$$\ln \frac{e_{\text{sat}}^{\circ}}{e_{\text{sat}}} = \frac{2\sigma}{nkTr} = \frac{C}{r}$$

# Introducción a la Meteorología – Nubes

## UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud



Tenemos un problema...se requiere tener una súper saturación alta para mantener en equilibrio gotas pequeñas...

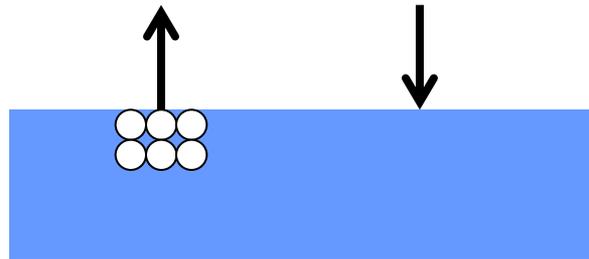
# Introducción a la Meteorología – Nubes

## UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud

Aire saturado c/r sfc.  
plana agua **pura**

$$E \text{ (liquido)} = C (e_{\text{equil}}^1)$$

$$e_{\text{equil}}^1 \equiv e_{\text{sat}}(T)$$

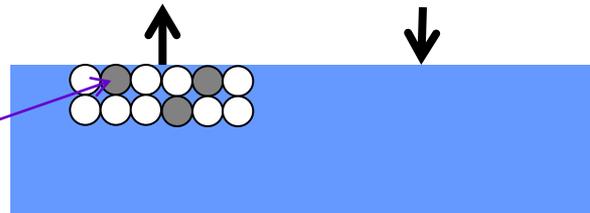


Aire saturado c/r sfc.  
plana agua + **soluto**

$$E \text{ (liquido)} = C (e_{\text{equil}}^4)$$

$$e_{\text{equil}}^4 \equiv e'_{\text{sat}} < e_{\text{sat}}$$

Presencia de soluto  
(núcleos de condensación  
soluble) aumentan cohesión



$$\frac{e'_{\text{sat}}}{e_{\text{sat}}} = f \propto \frac{n'}{n'+N}$$

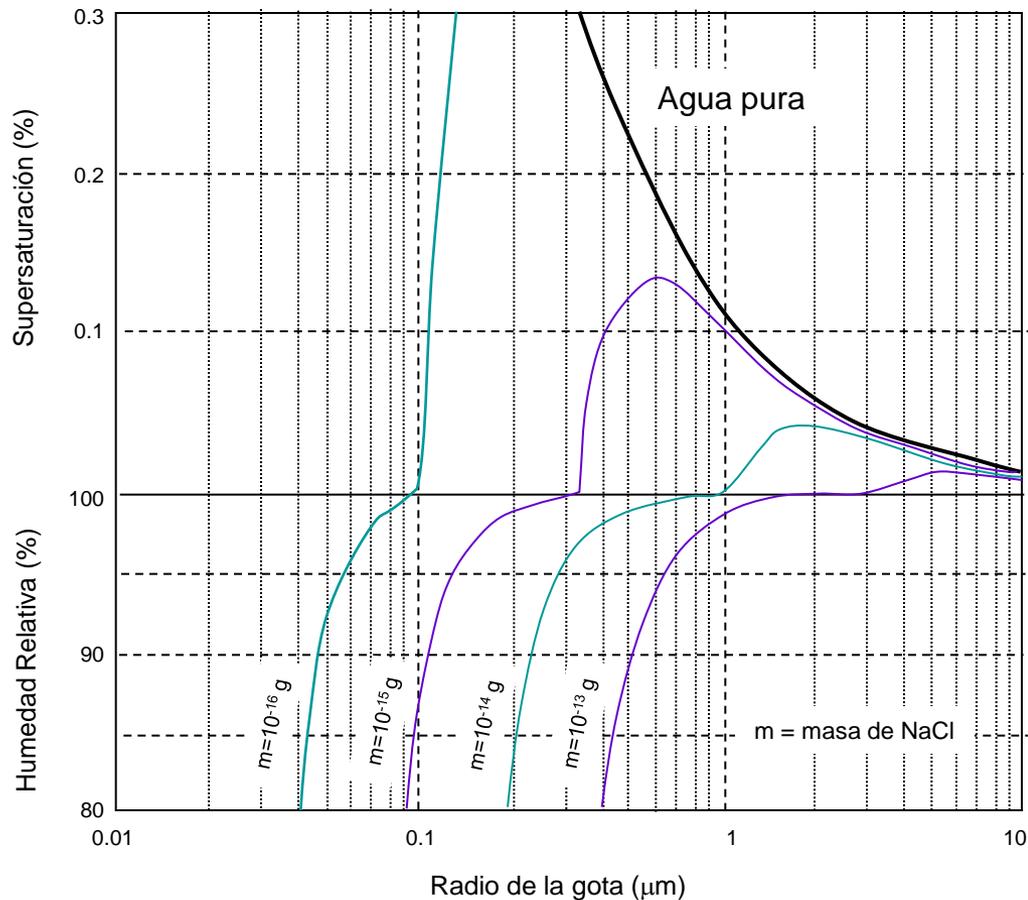
köhler

# Introducción a la Meteorología – Nubes

## UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud

Curvas de Köhler: efecto combinado de curvatura y soluto

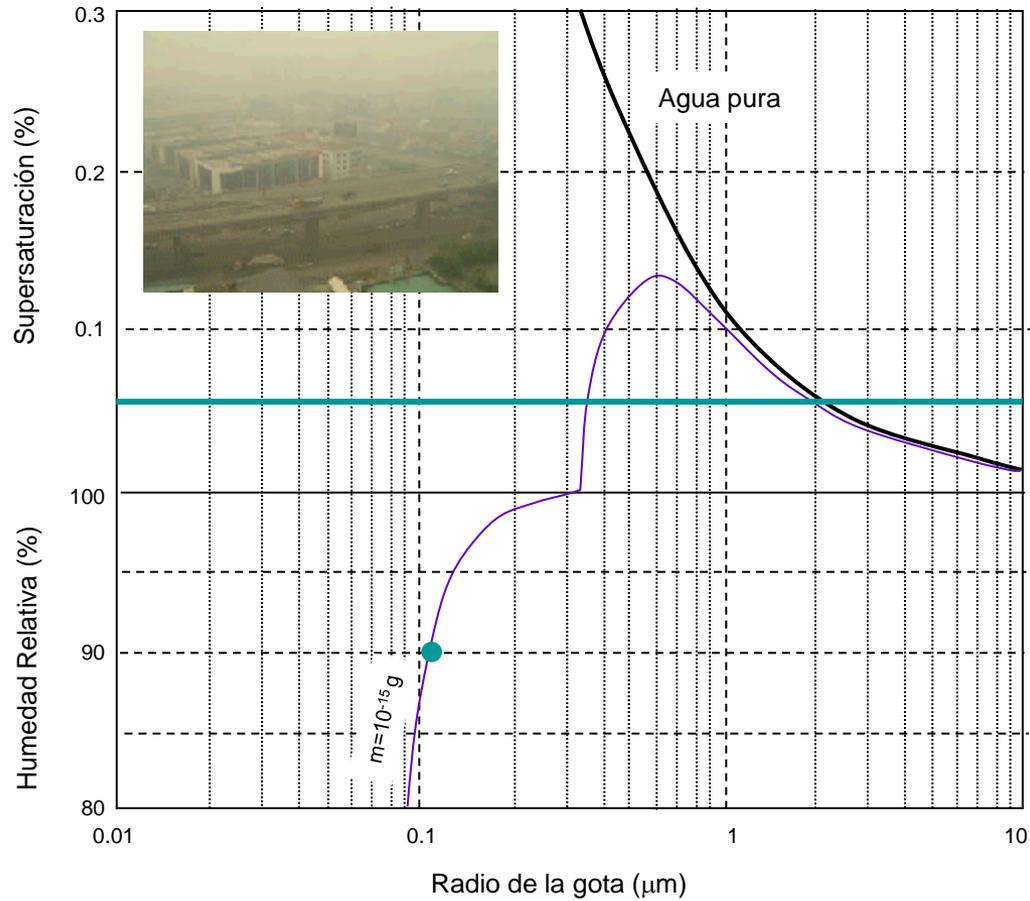
$$\frac{e'_{sat}}{e_{sat}} = 1 + \frac{\dot{C}}{r} - \frac{C'}{r^3}$$



# Introducción a la Meteorología – Nubes

## UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud

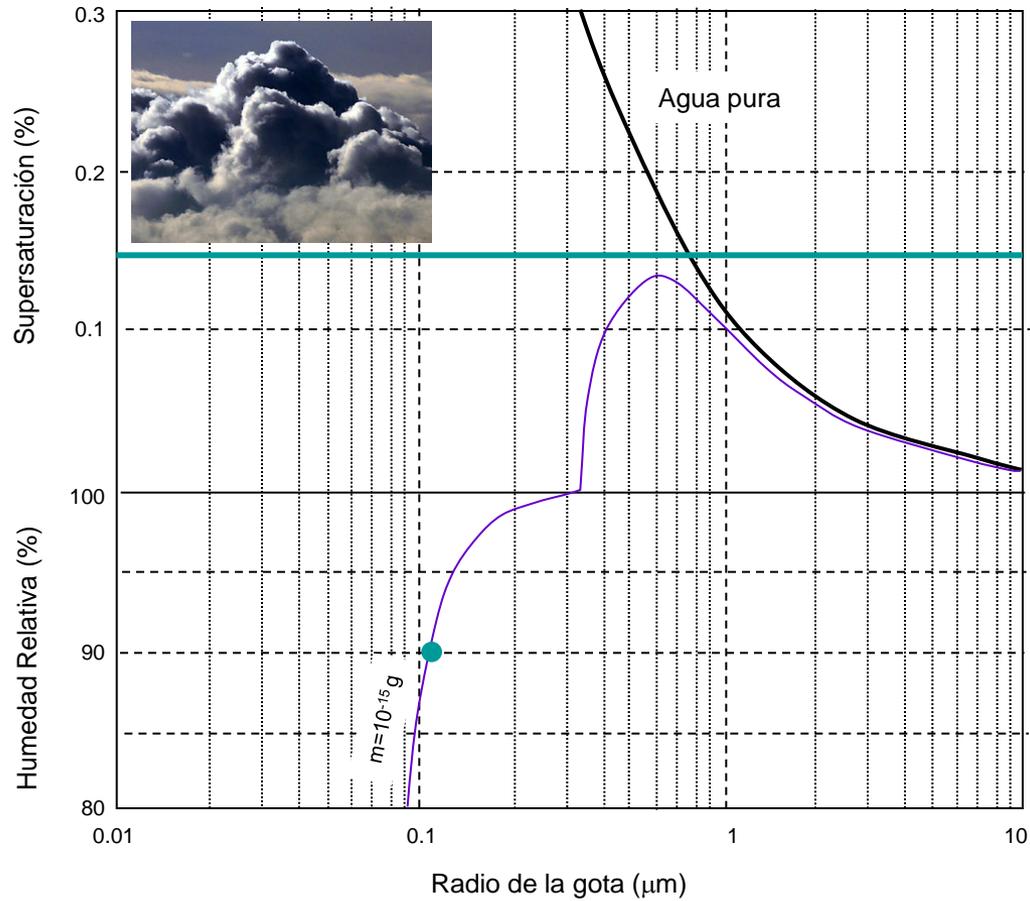
### Formación de bruma y neblina



# Introducción a la Meteorología – Nubes

## UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud

### Formación de nubes



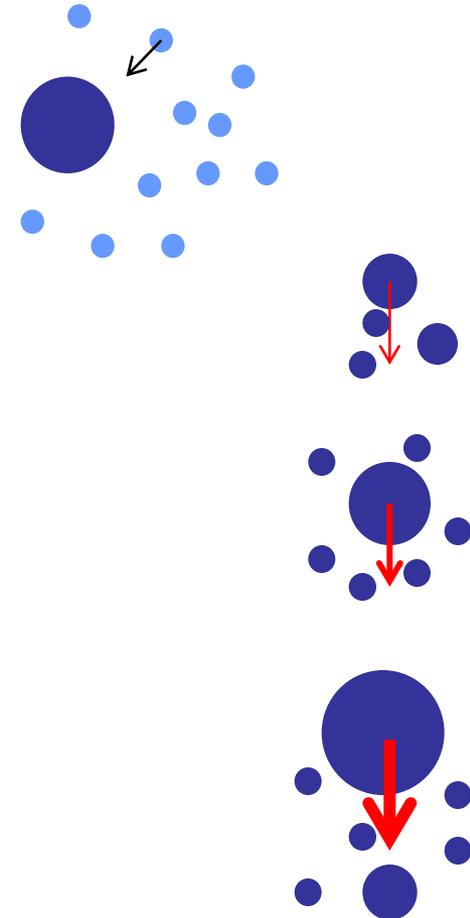
# Introducción a la Meteorología – Nubes

## UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud

En una tormenta, los embriones crecen miles de veces hasta convertirse en gotas de nube/lluvia en menos de una hora...como es posible esto?

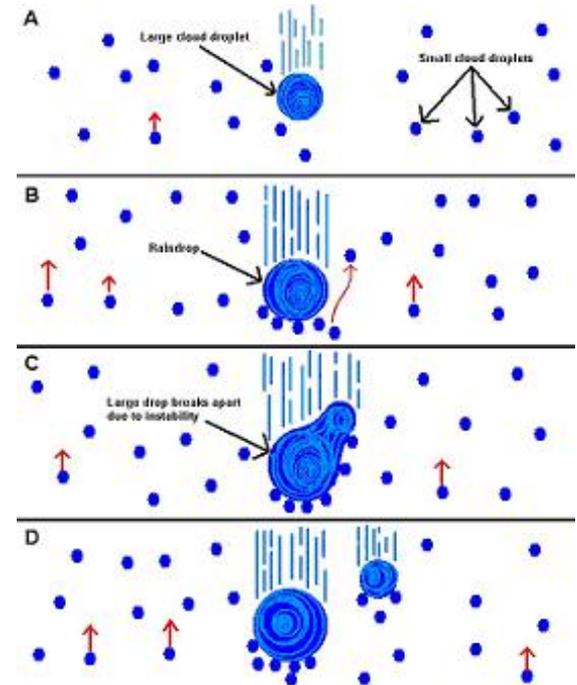
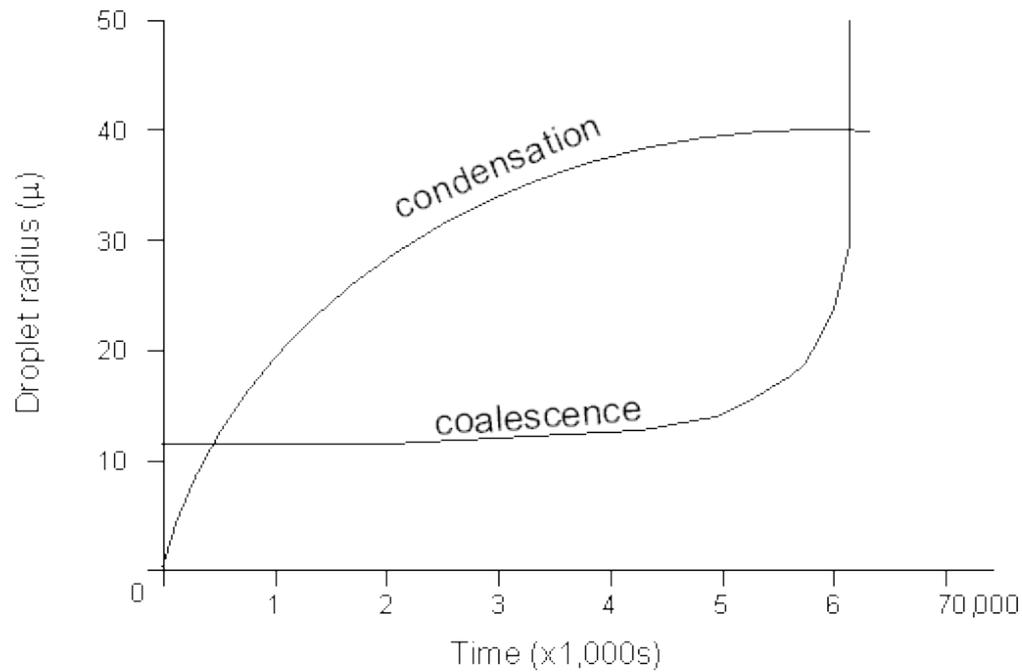
En una primera etapa las gotas crecen por difusión de vapor de agua. Este proceso esta controlado por la cantidad de vapor disponible, el tamaño de la gota y su contenido químico; su eficiencia decrece con el tamaño de la gota.

En una segunda etapa, las gotas crecen por colisión-coalescencia (choque entre gotas). La eficiencia de este mecanismo aumenta con el tamaño de la gota (mayor área colectora, mayor vel. terminal)



# Introducción a la Meteorología – Nubes

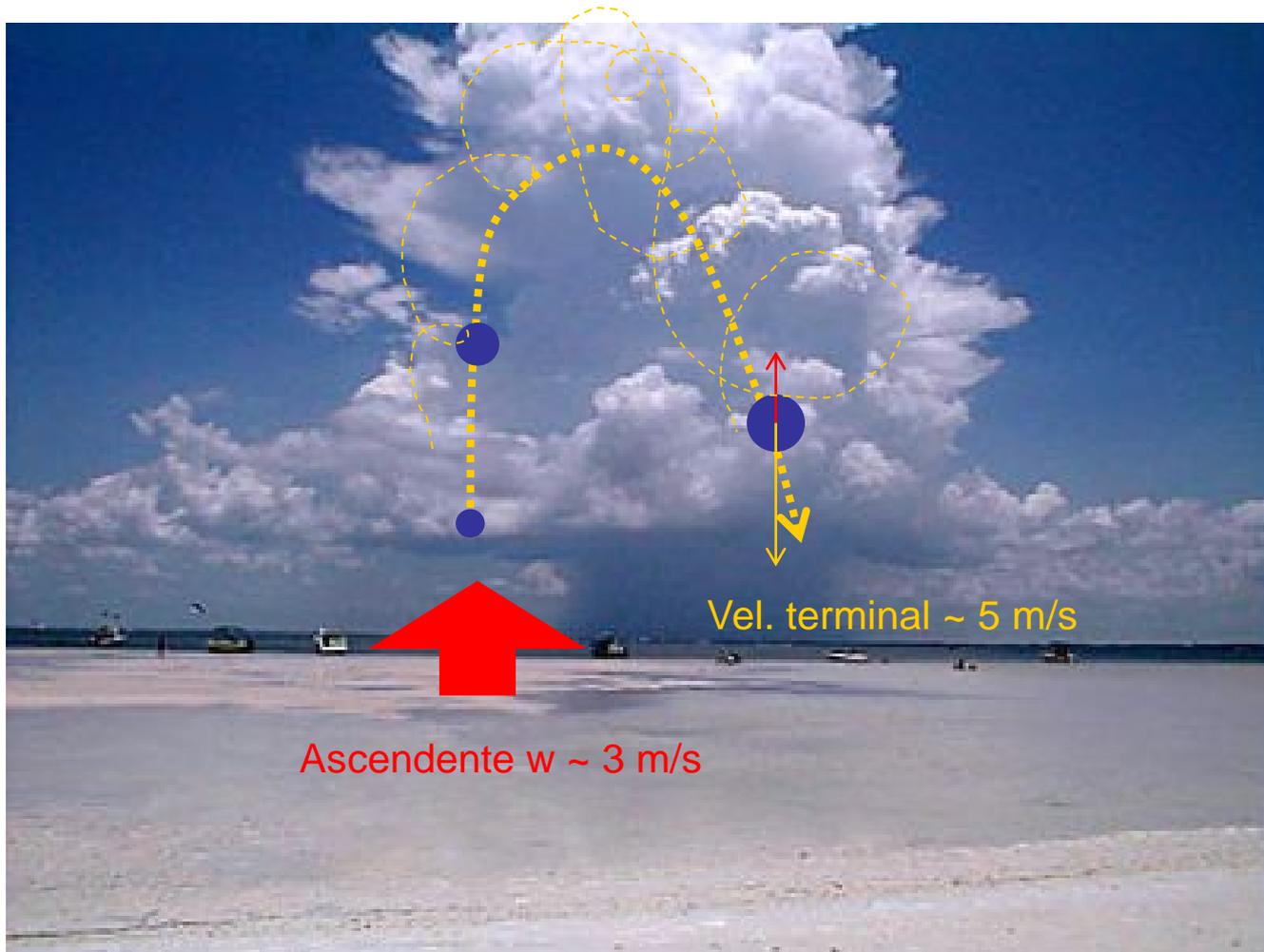
## UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud



# Introducción a la Meteorología – Nubes

## UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud

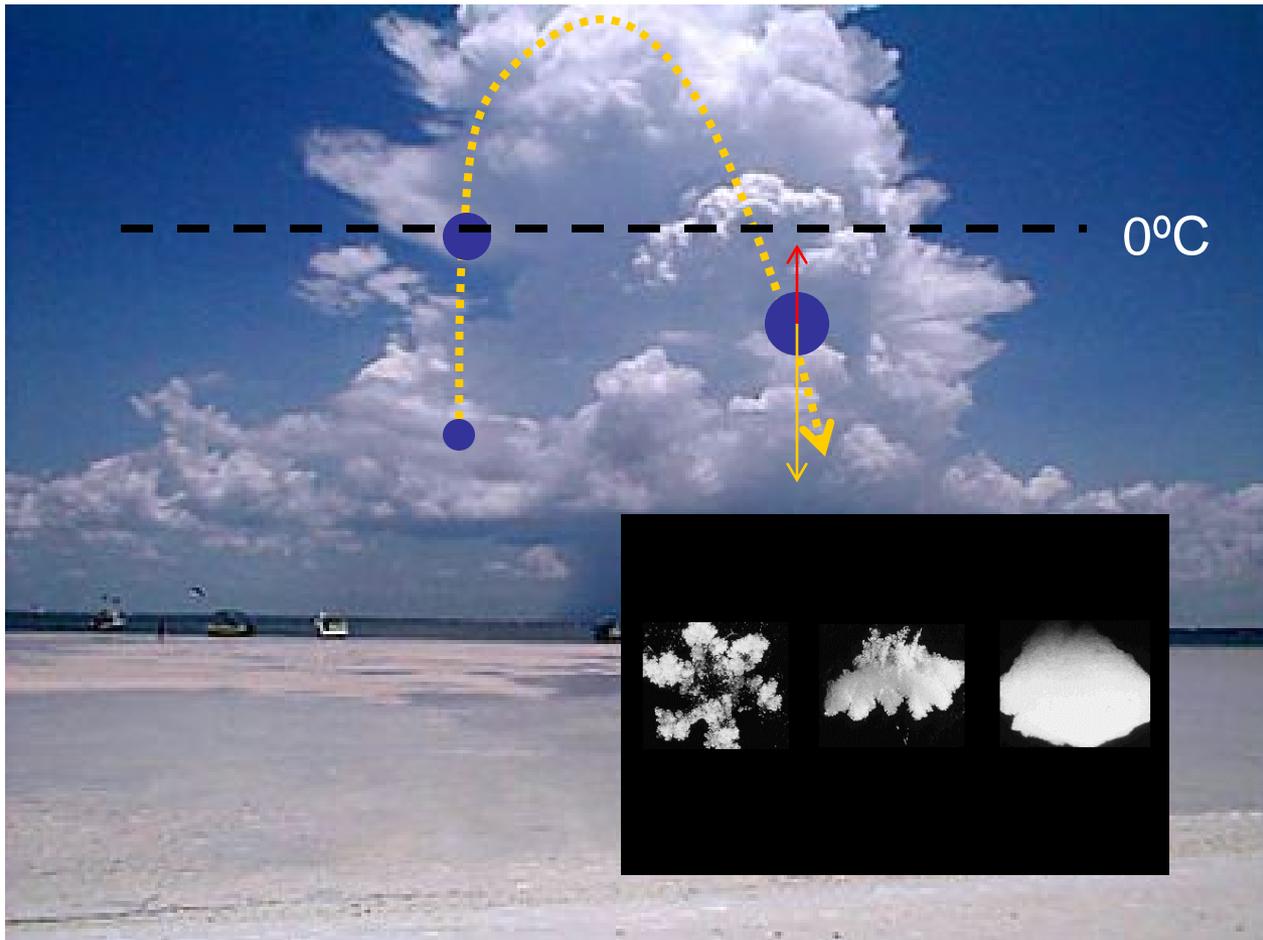
Por supuesto, la trayectoria de una gota puede complicada, en especial en una tormenta convectiva...



# Introducción a la Meteorología – Nubes

## UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud

Las cosas también se complican en una nube fría (parte de su volumen esta sobre isoterma de 0C). En este case el agua se congela rápidamente y sigue creciendo como granizo..



# Introducción a la Meteorología – Nubes

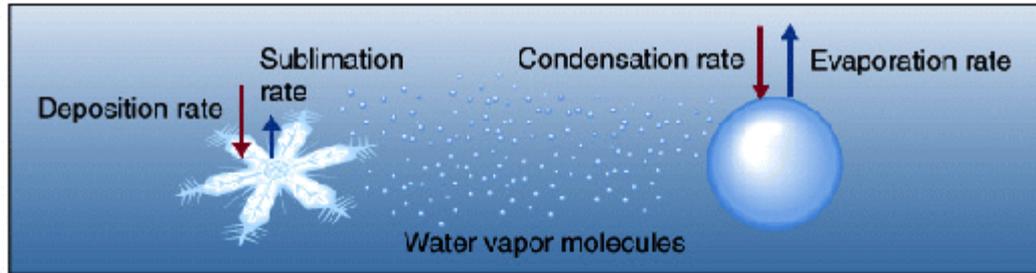
## UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud

Una situación distinta ocurre en una tormenta de nieve. En este caso toda (o casi toda) la nube esta bajo  $0^{\circ}\text{C}$ , y la difusión de vapor ocurre en torno a núcleos de condensación de hielo (típicamente en forma prismática), dando origen a la nieve.

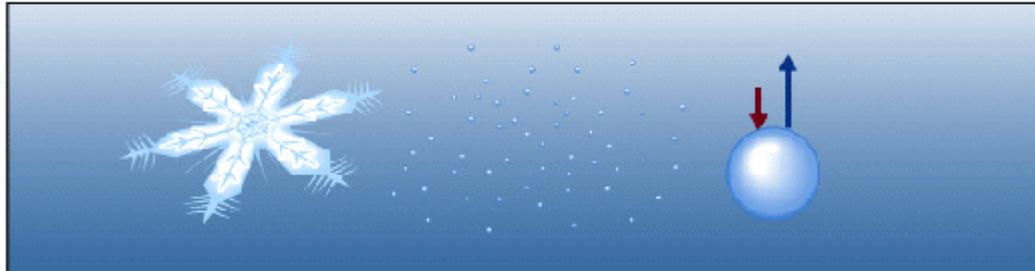


# Introducción a la Meteorología – Nubes

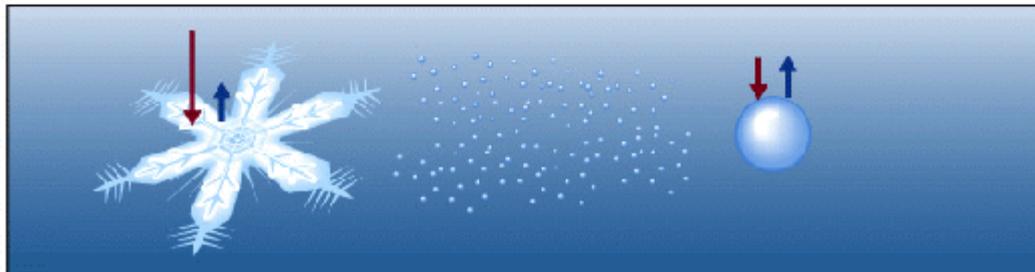
UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud



(a)



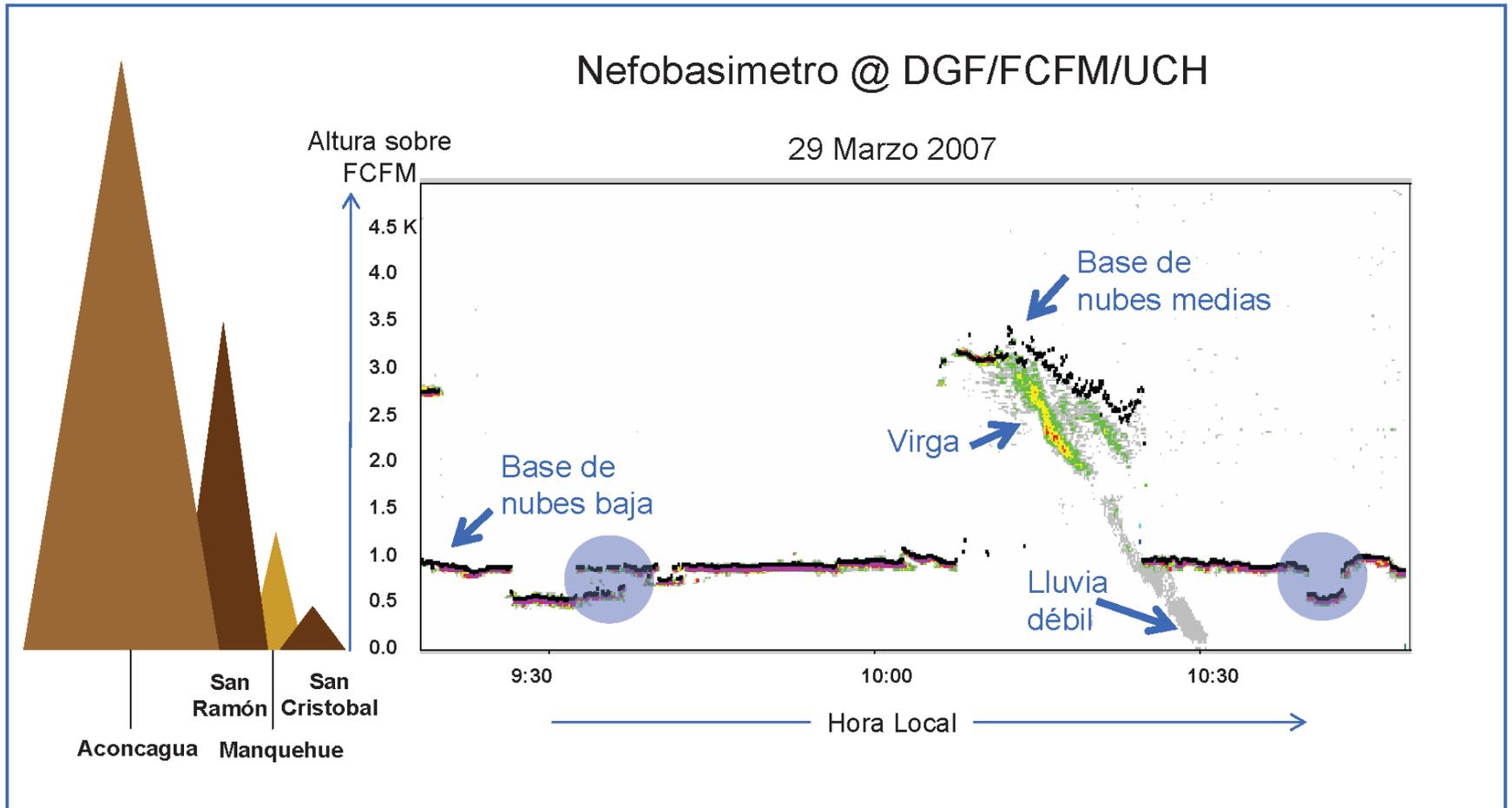
(b)



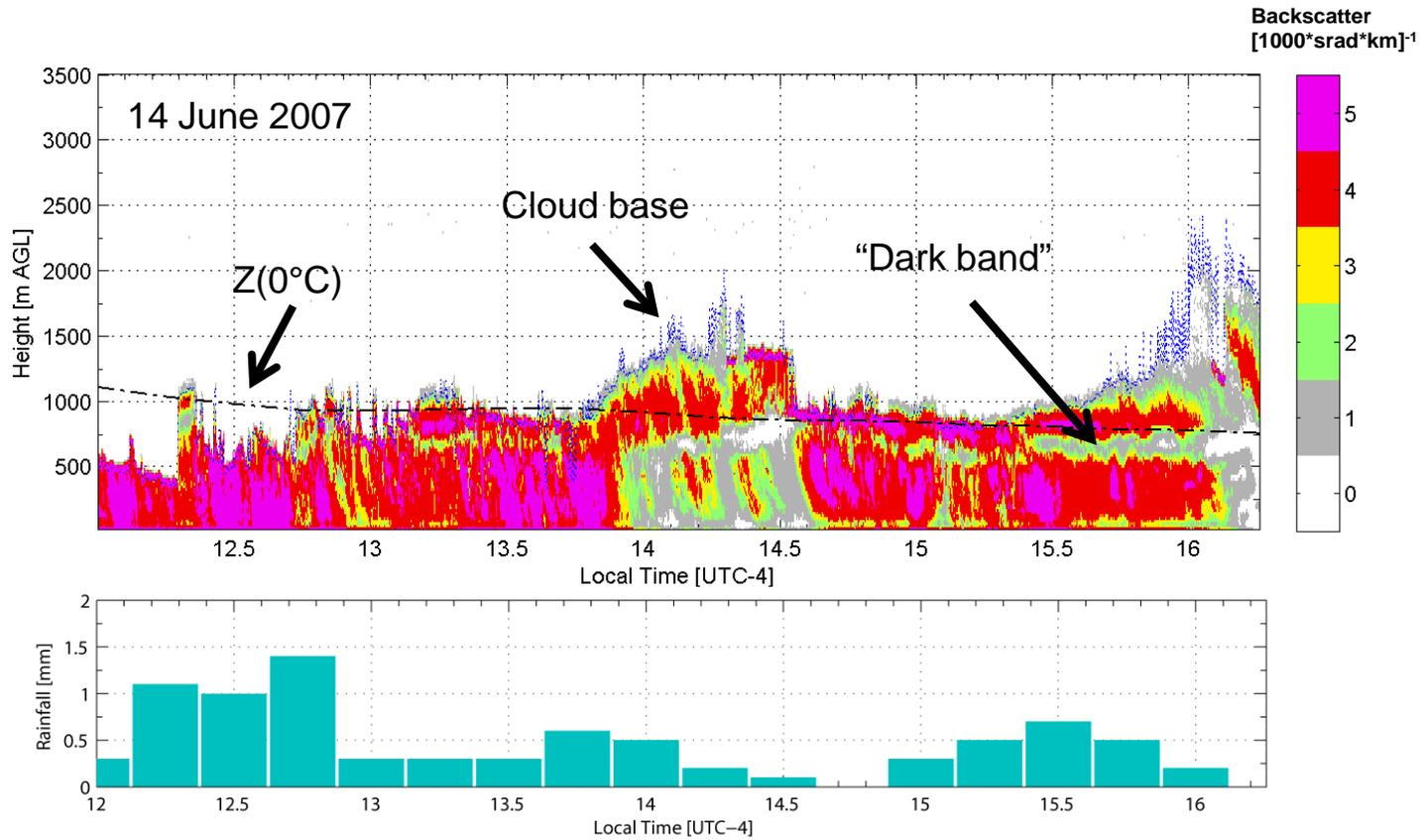
(c)



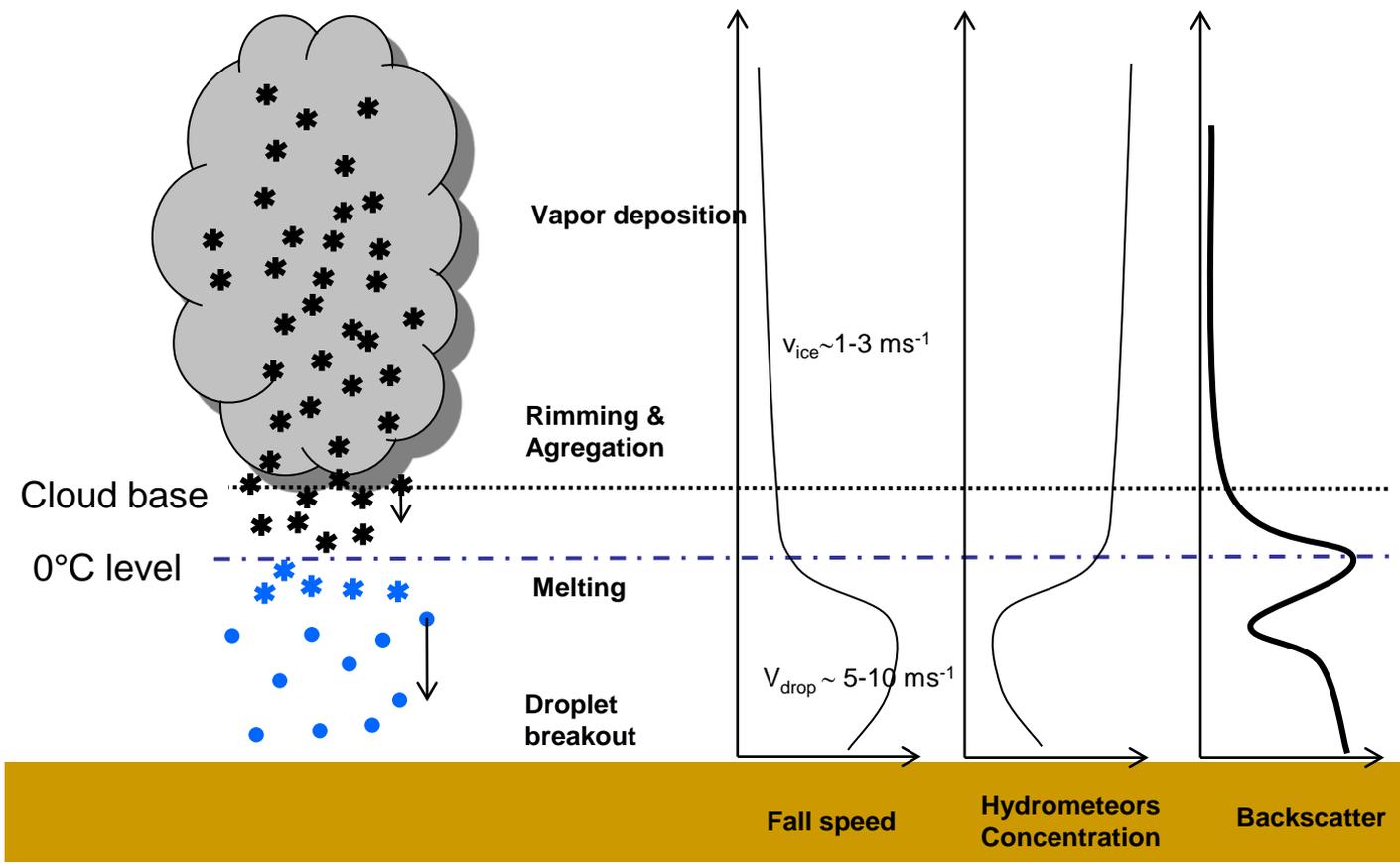
# Ejemplo NEFOBASIMETRO @ DGF-UCH (en operación desde Enero 2007)



# DGF-UCH Ceilometer data



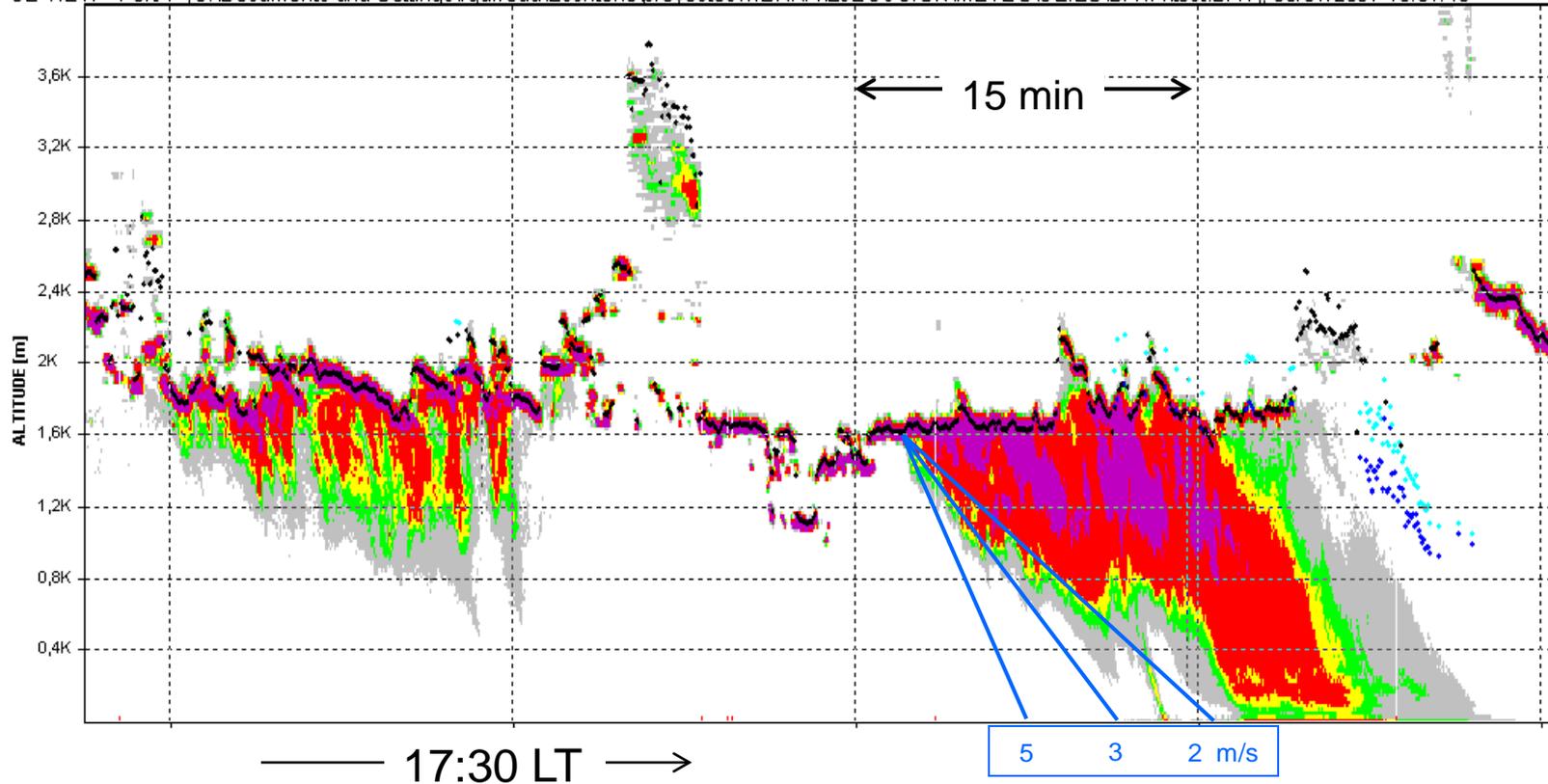
$$C_{\text{drop}}/C_{\text{ice}} = v_{\text{ice}}/v_{\text{drop}} \sim 0.1 - 0.5$$



# Introducción a la Meteorología – Nubes

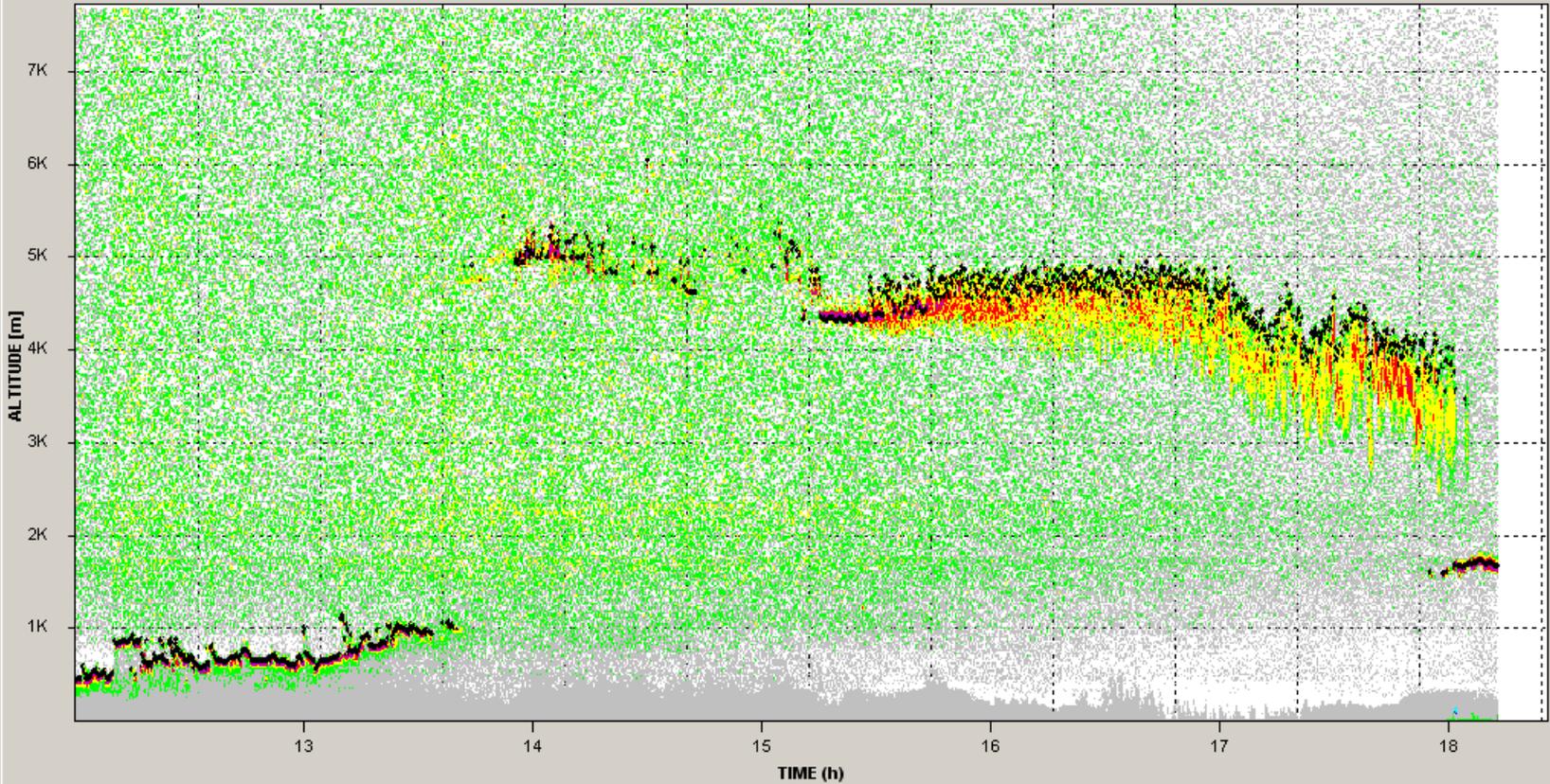
## UCH/FCFM/DGF – R. Garreaud

CL-VIEW - Part 1 [C:\Documents and Settings\rgarreau\Escritorio\proyectos\TIERRA\EJECUCION\METEO\CEILO\DATA\test.DAT], 06/07/2007 13:07:48



CL-VIEW - Port 1 [C:\Documents and Settings\rgarreau\Escritorio\estacion\A0050518.DAT]

File Edit Log View Terminal Help



CL31  
VAISALA

Instant Values [m]

5-may 18:44:06

Cloud Height 1

01700

Cloud Height 2

-----

Cloud Height 3

-----

LOG OFF | Msg22, No Errors | Status: OK

# GF45A-GF3003 Introducción a la Meteorología – Clase 7

## Semestre Otoño 2009 – R. Garreaud

