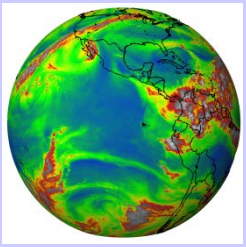
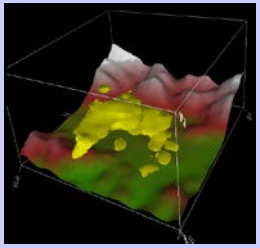



Universidad de Chile
Departamento de Geofísica

Introducción a la Meteorología y Oceanografía

Termodinámica Atmosférica

Prof. René Garreaud
www.dgf.uchile.cl/rene

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

I. Leyes fundamentales de los gases
- Ecuación de estado gases ideales
- Conservación de Energía (1er Ppio. Td)
- Ecuación Hidrostática
- Ley de Dalton

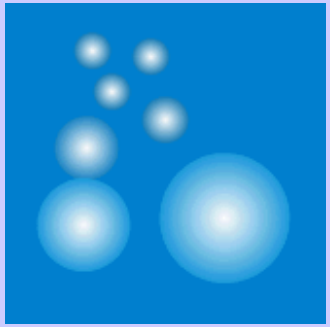
II. Humedad Atmosférica
- Vapor en el aire
- Saturación
- Parámetros de humedad
- Mediciones

III. Procesos Termodinámicos
- Procesos Adiabático seco
- Procesos Adiabático saturado
- Estabilidad Atmosférica

El agua en la atmósfera se encuentra en tres formas:

Vapor de agua (Fase gaseosa)

Invisible debido a su tamaño muy pequeño

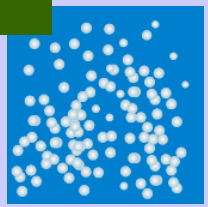


Gotas de nube o lluvia (Fase liquida)

Diferentes tamaños 0.001 mm - 1 cm

Cristales de hielo o nieve (Fase sólida)

Estructura ordenada o desordenada



Humedad Atmosférica

Consideremos en primer lugar como cuantificar el contenido de vapor de agua en el aire:

- **Razón de mezcla = Masa de vapor de agua / Masa de aire seco**
  [q] = gr vapor / kg de aire seco
  En esta sala, probablemente q = 5 gr/Kg

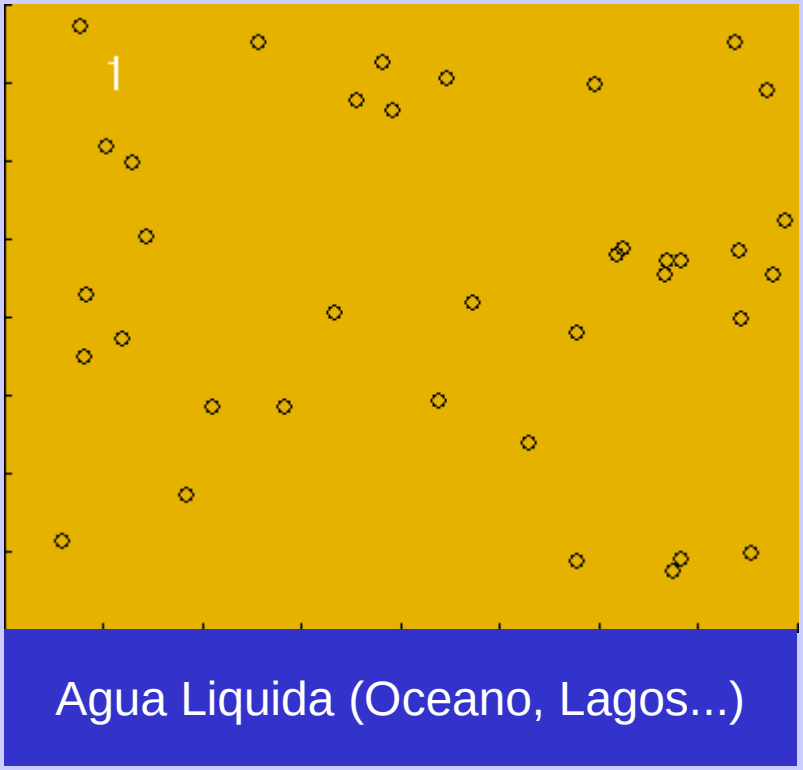
- **Humedad especifica = Masa vapor de agua / Masa de aire**
  [H] = gr vapor / kg de aire
  Notar que $H < q$, pero $H \sim q$

- **Humedad absoluta = densidad del vapor (Masa/Volumen)**
  Como ρ(aire) $\sim$ 1 kg/m3, si q=5 gr/Kg entonces ρ(vapor) $\sim$ 5 g/m3

Naturalmente, todos los parámetros anteriores son difíciles de medir directamente...(necesitamos contar moléculas de vapor)

Las moléculas de vapor de agua pasan desde la superficie de cuerpos de agua hacia la atmósfera.
Este proceso se denomina **evaporación**.

Aire



Moléculas

- ○ **O_2, H, etc...**
- ● **H_20 Gas**
  Invisible!

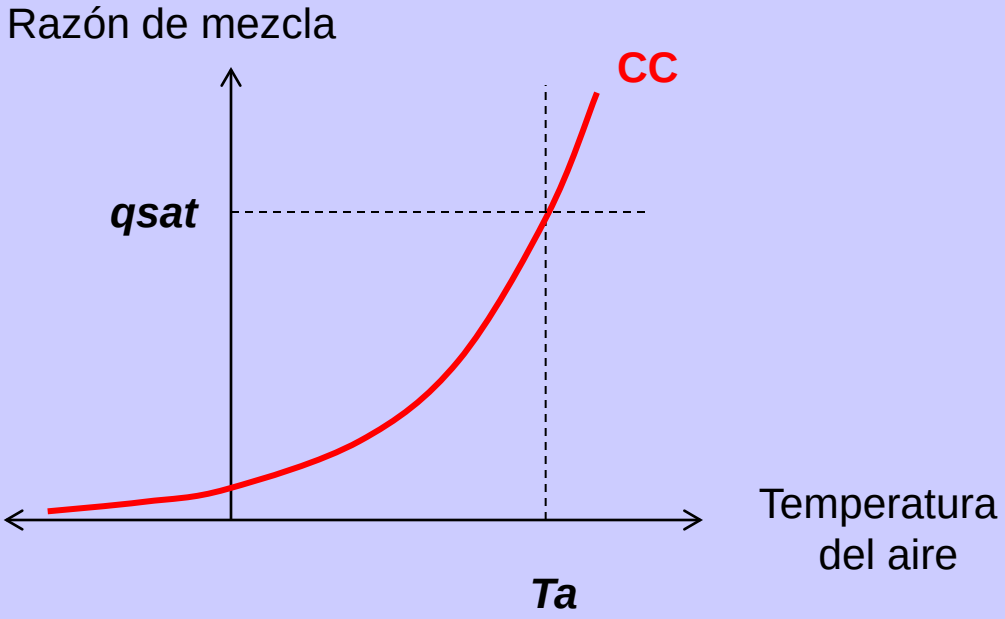
0 - 20 gr de vapor por 1 Kg (1000 gr) de aire seco

La evaporación es rápida cuando el aire es seco, la temperatura es alta y el viento es fuerte.

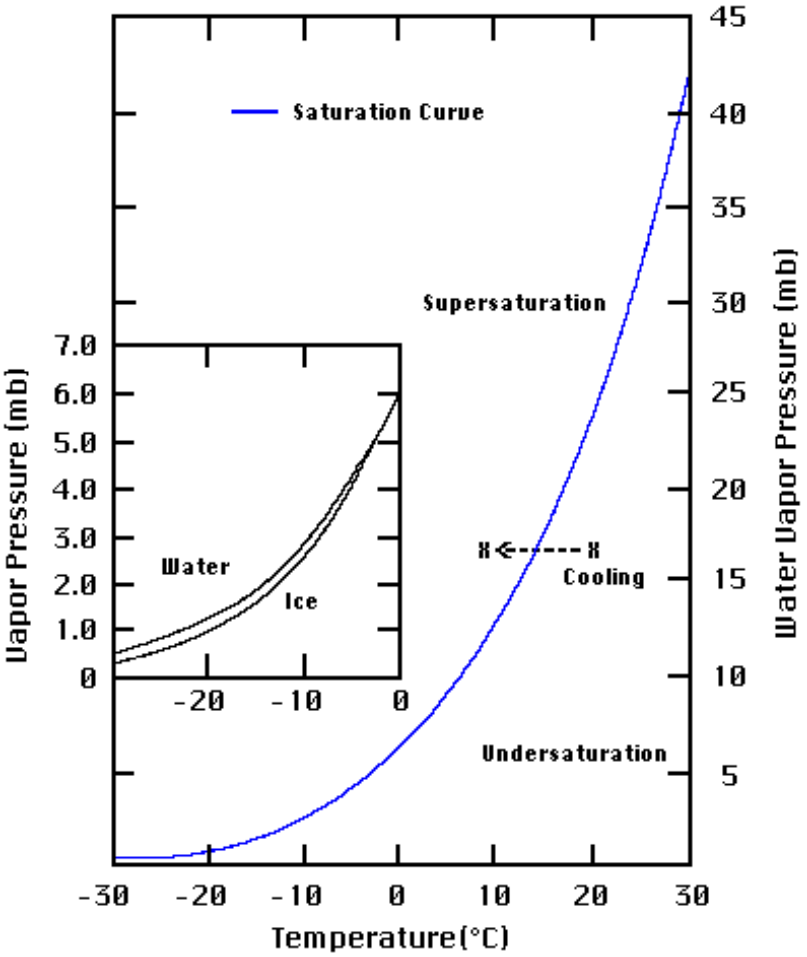
Si la evaporación continua, la razón de mezcla aumenta y llegara un momento en que el aire no puede contener mas vapor de agua y comienza la formación de gotas.

Esa condición se denomina estado de **saturación**. El valor de q en ese estado se denomina como razón de mezla de saturación (q_{sat}).

Se puede demostrar que a presión constante, q_{sat} solo depende de la temperatura, a través de la ley de Clausius-Clapeyron:



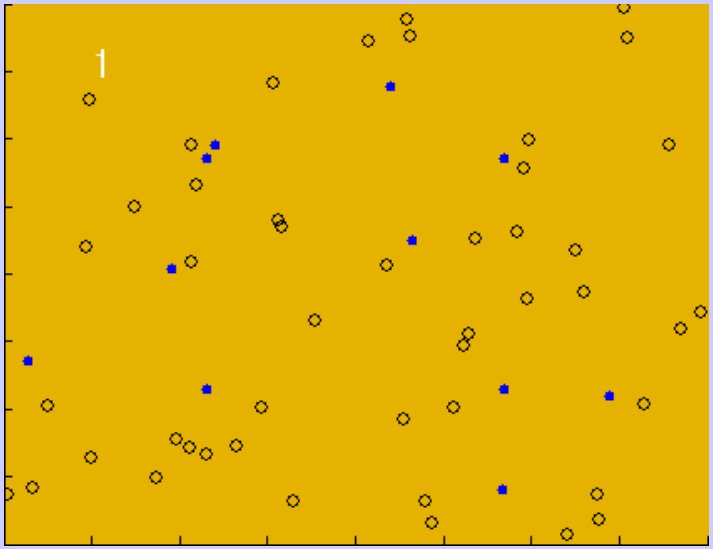
The vapor pressure of ice and water between -30° and 30° (mb = millibar). (Berner and Berner 1987)



Interpretación simple de la ley de Clausius-Clapeyron

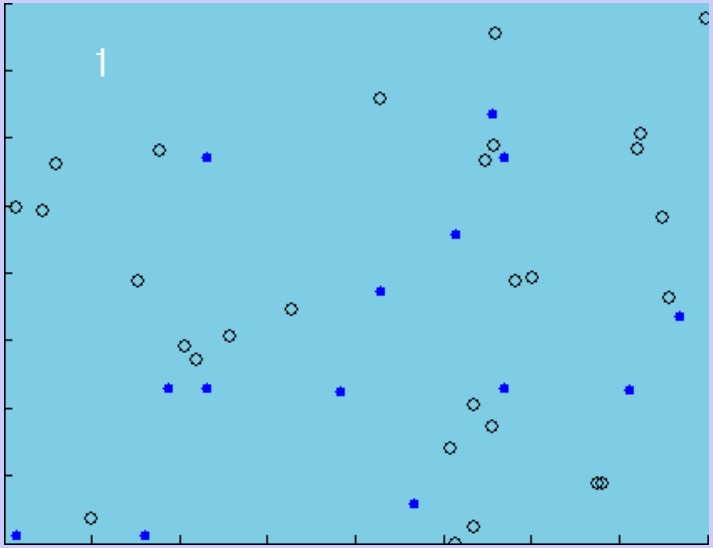
Moleculas

- ○ O_2, H, etc...
- ● H_20 Vapor
- ● H_20 Liquido



Temperatura del aire: 22°C

Moléculas se mueven rápido y choques de H_2O vapor no logran formar una gota



Temperatura del aire: 5°C

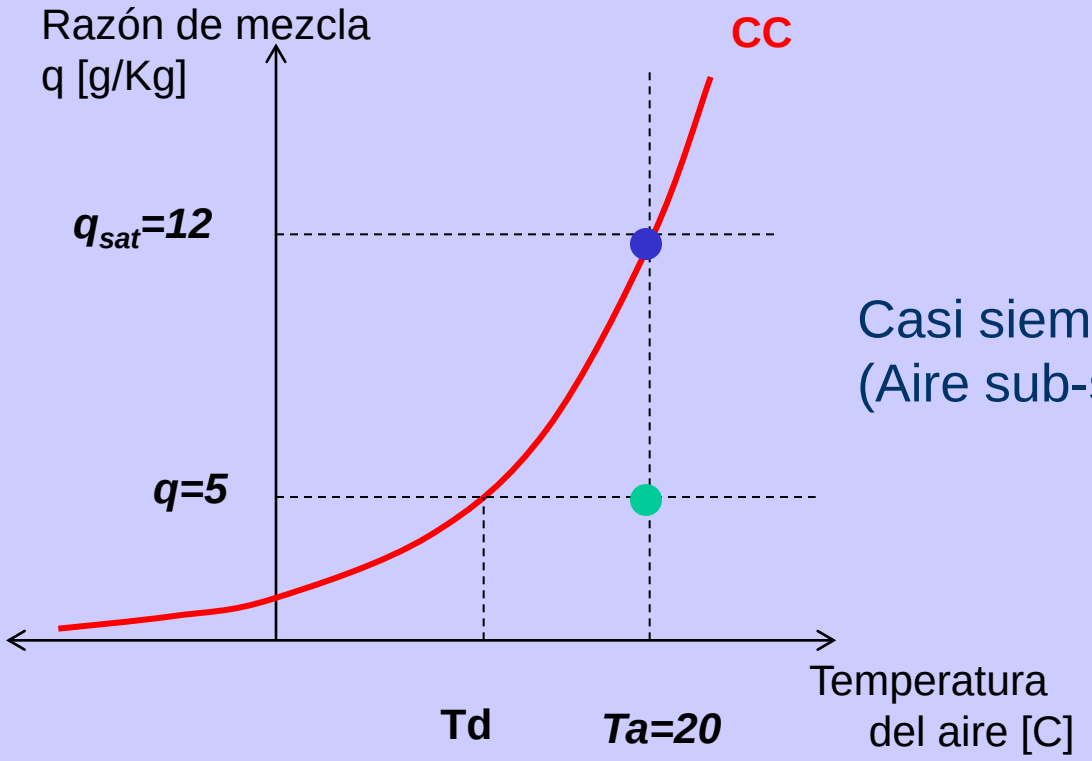
Moléculas se mueven lento y choques de H_2O vapor si logran formar una gota:

Condensación

Tenemos entonces dos valores de razón de mezcla.

Uno corresponde al “medido” (q) e indica cuanto vapor hay en la sala. El otro corresponde al de saturación (q_{sat}), solo depende de la temperatura (y presión) y nos dice cuanto vapor se require para saturar esta sala.

Ambos valores pueden ser dibujados en el grafico T - q :



Casi siempre q < qsat
(Aire sub-saturado)

Calculo de razón de mezcla de saturación:

Primero se calcula la presión parcial de vapor de saturación usando la ley de Clausius-Clapeyron

$e_{sat} = 6.11*10^{[7.5*T/(T+237.3)]}$ (T del aire en ^oC y e_{sat} en hPa)

La razón de mezcla se calcula entonces como:

$q_{sat} = 622*e_{sat}/[p-e_{sat}]$ (q_{sat} en g/Kg)

Donde p es la presión atmosférica expresada en hPa.

Ejemplo: esta sala....T=20C, p=950 hPa.

$e_{sat} = 23.4$ hPa
$q_{sat} = 15.7$ g/Kg

Humedad relativa

Se define la humedad relativa como: **$HR = 100^* \, q / q_{sat}$**

Es decir, la humedad relativa nos indica cuan cerca o lejos estamos de la condición de saturación. 0% indica aire completamente seco. 100% indica aire saturado. 101% indica sobresaturación....

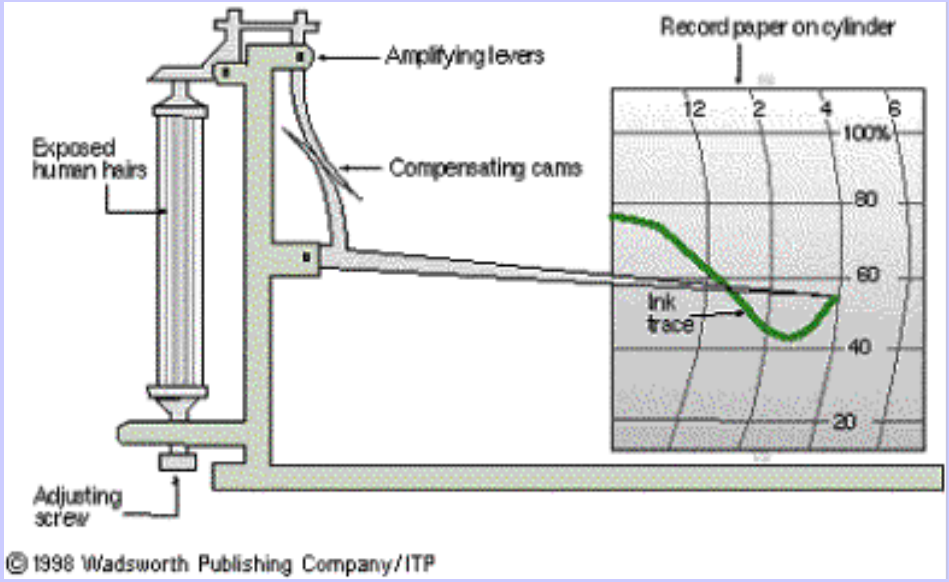
Notar que HR es función de q (contenido de vapor) Y de la temperatura, por lo cual HR no es un buen indicador de la cantidad de vapor de agua en el aire:

HR=70%, T=20ºC, p=950 hPa $\rightarrow$ q = 11.0 g/Kg
HR=70%, T= 2ºC, p=950 hPa $\rightarrow$ q = 3.2 g/Kg (q_{sat} = 4.7 g/Kg)

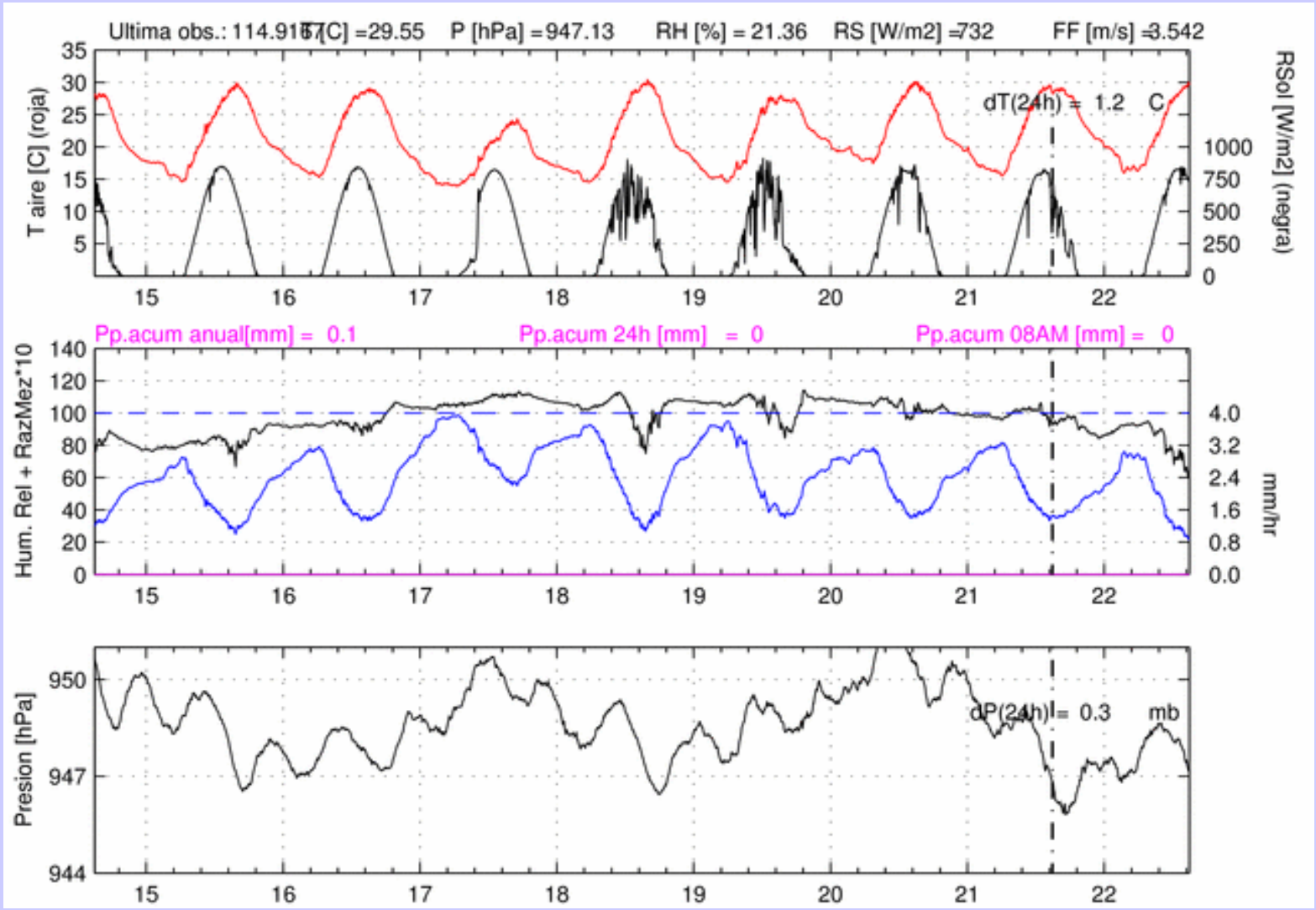
Humedad Relativa

Sin embargo, la humedad relativa es una cantidad fácilmente medible a través de higrometros, en los cuales un material (e.g., cabello humano) responde a cambios de humedad relativa.

Psicrómetro



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

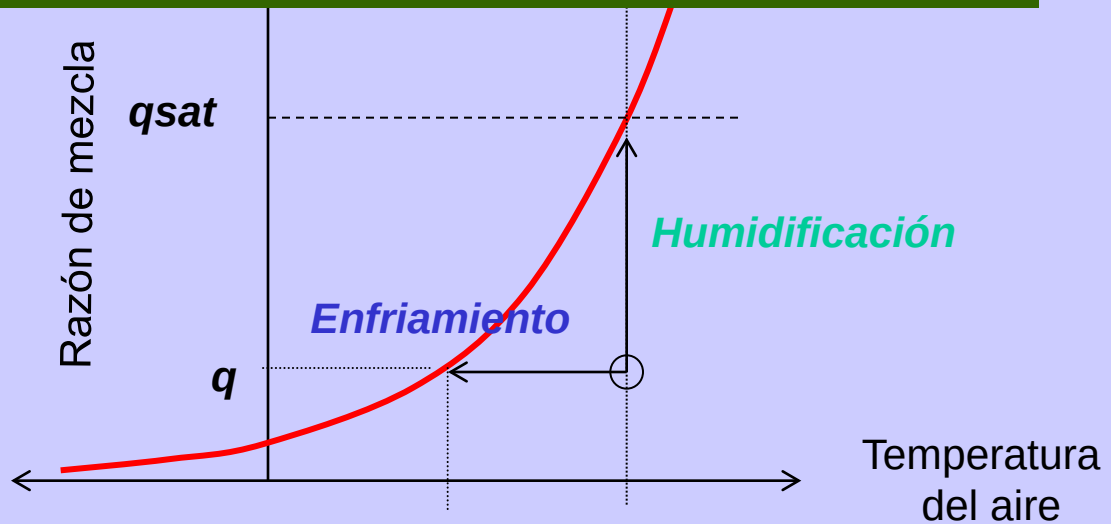


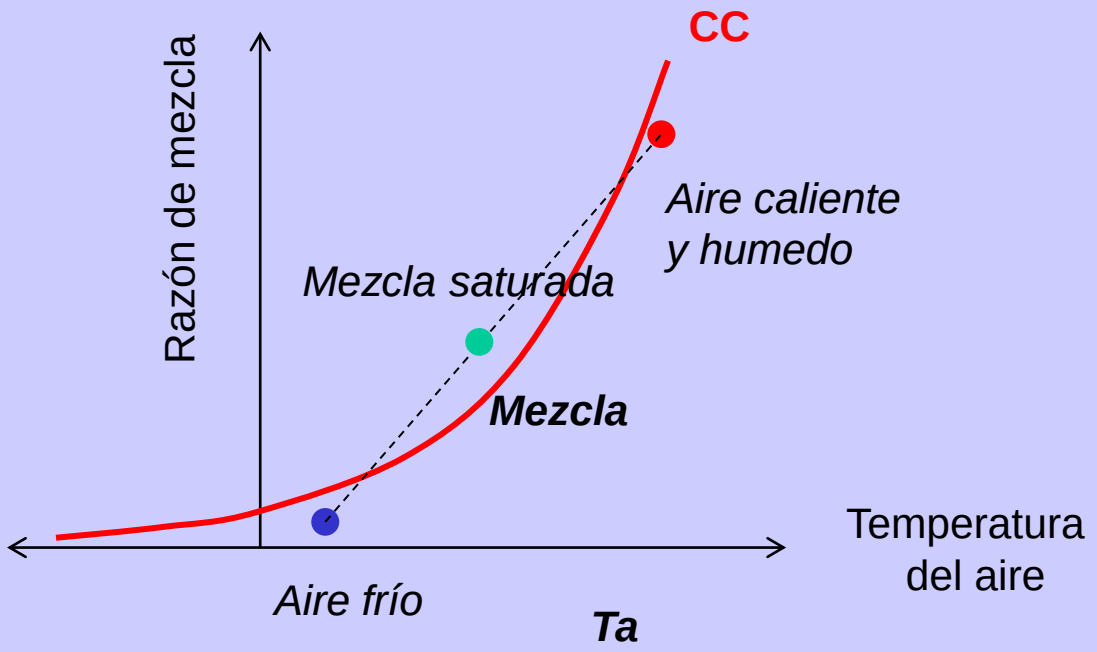
La saturación de aire puede alcanzarse en la atmósfera a través de tres mecanismos:

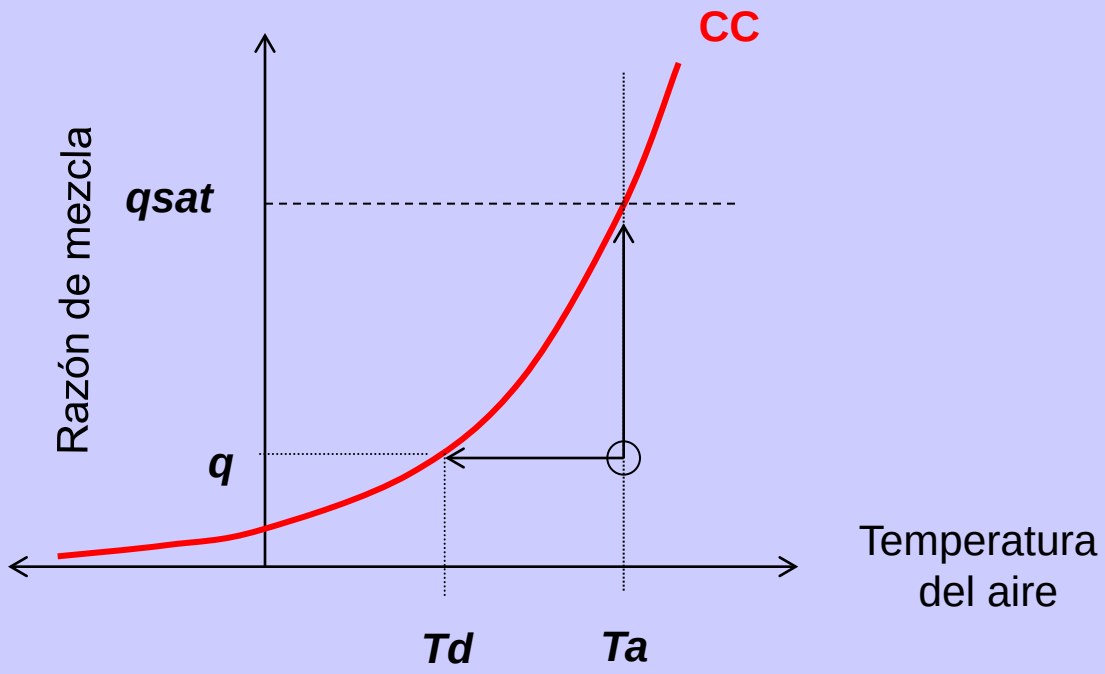
1. Humidificación (aumentar q por medio de evaporación)

2. Enfriamiento (disminuye q_{sat})

3. Mezcla de dos masas de aire substuradas, pero cercanas a la saturación


Razón de mezcla
qsat
q
Humidificación
Enfriamiento
Temperatura
del aire
Td
Ta


CC
Razón de mezcla
Aire caliente
y humedo
Mezcla saturada
Mezcla
Temperatura
del aire
Aire frío
Ta

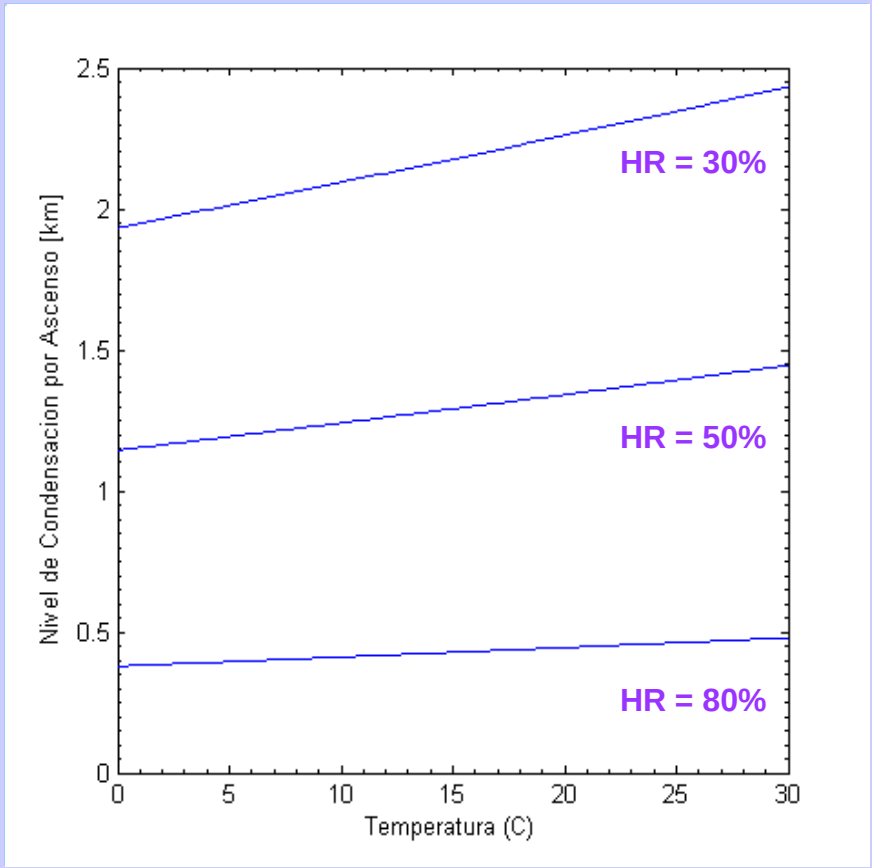


Otra parámetro que indica el grado de humedad del aire es la **temperatura del punto de rocío** (Td): valor al cual hay que enfriar el aire para que sature.

Nivel de Condensación por Ascenso (NCA)

Con excepción del caso de las nieblas y neblinas, casi todas las nubes que observamos se debe al enfriamiento de masas de aire producto del ascenso de esta últimas...

¿Cuanto debe subir una parcela para que se sature?: **NCA**

Recuerde que si el proceso es adiabático, la temperatura disminuye a 10º/Km…(Gad)

El NCA también depende de la humedad relativa inicial (casos limite: 0% y 100%)