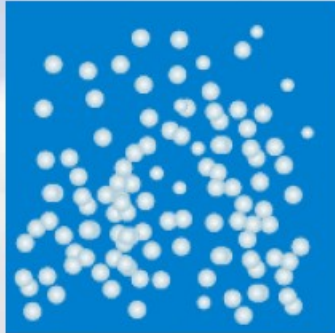


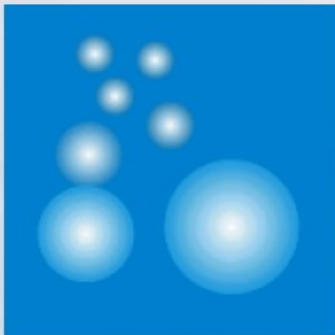
Formación de nubes y tipos de nubes

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 líquida)

Diferentes tamaños 0.001 mm - 1 cm



Cristales de hielo o nieve (Fase sólida)

Estructura ordenada o desordenada

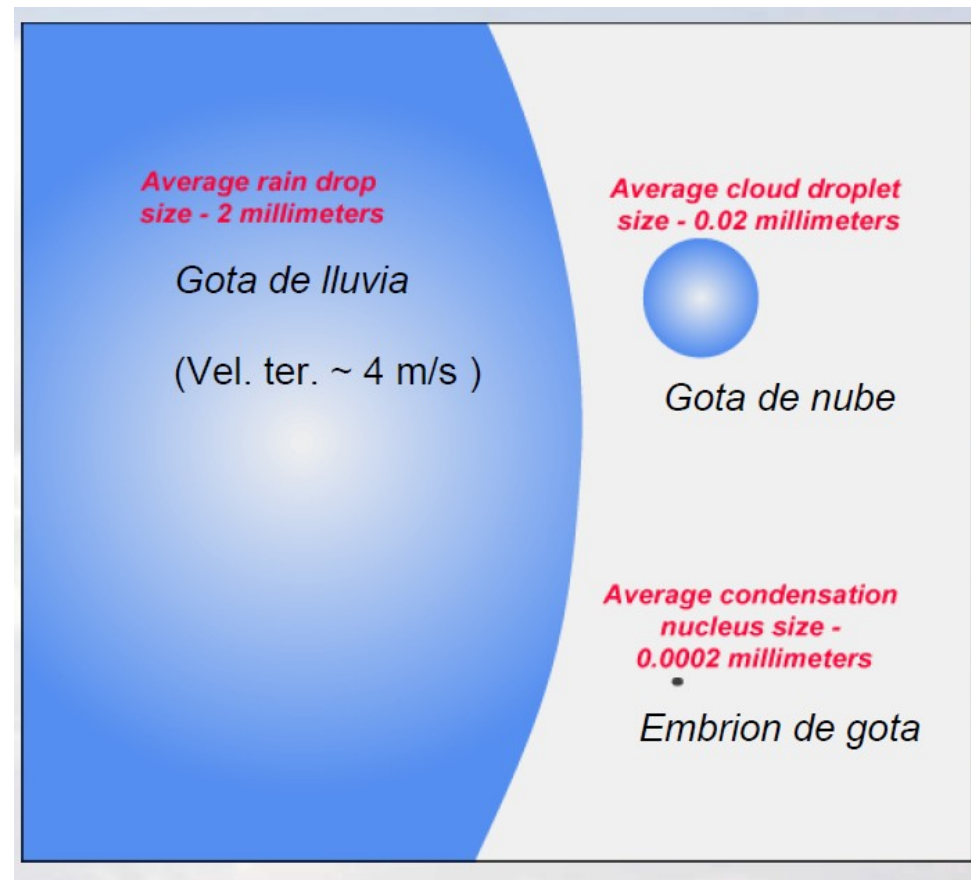
¿Cómo se forma la gota de agua?

- 1) Núcleos de condensación:



Núcleos de condensación

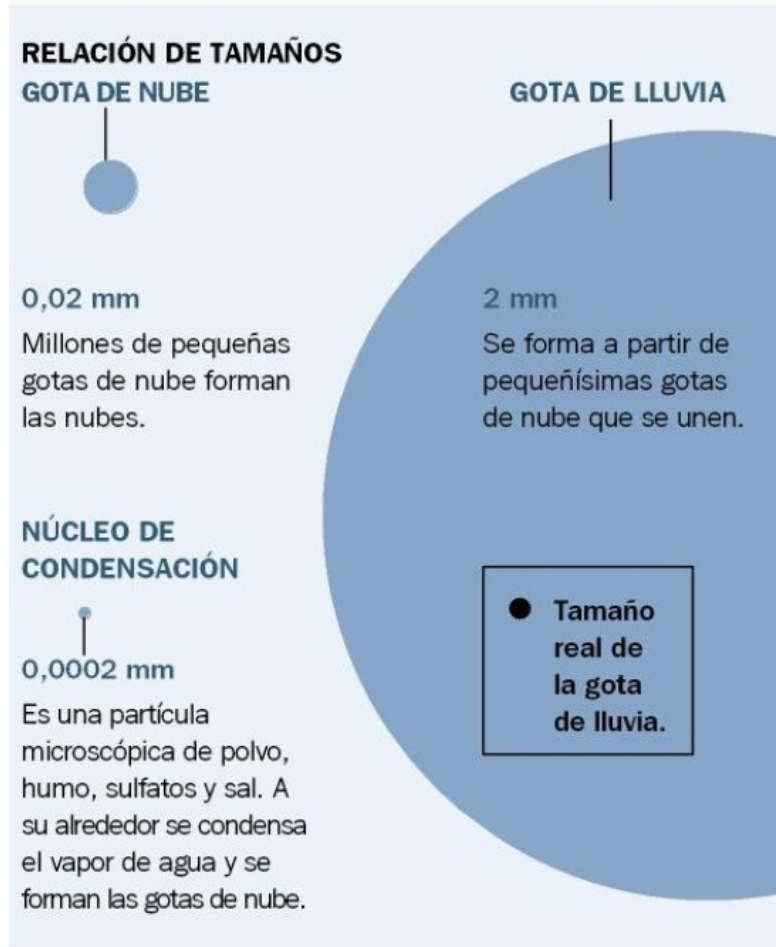
- Se clasifican por tamaño:
- Núcleos de Aitken: < 0.2 micrómetros
- Núcleos grandes: $0.2-1.0$ micrómetros
- Núcleos gigantes: > 1.0 micrómetros
- Gotas de lluvia: > 10 micrómetros

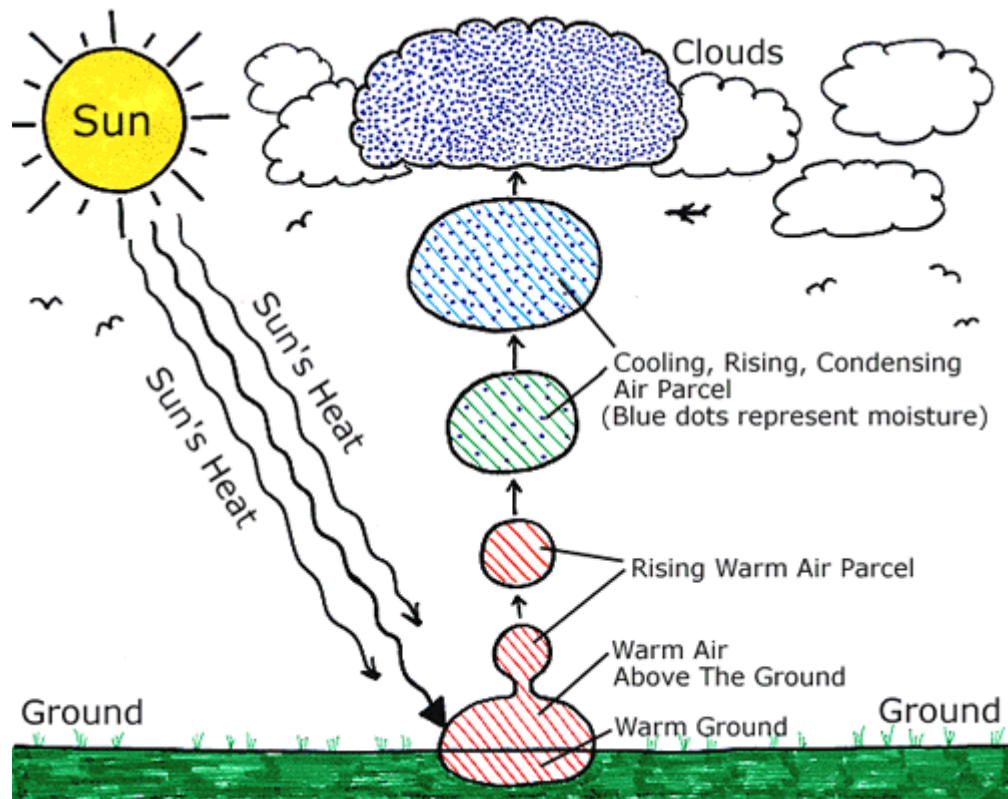


¿Como se forman las gotas?

GOTAS DE AGUA EN LA ATMÓSFERA

Se forman cuando el vapor de agua se condensa alrededor de los núcleos de condensación.





¿Por qué algunas nubes precipita y otras no?

Una gota de agua está sometida a la **aceleración de gravedad** hacia abajo y a la **fuerza de fricción** producida por el aire que la rodea que se incrementa a medida que la velocidad de la gota aumenta mientras cae.

Una vez que la fuerza de fricción se equilibra con el peso de la gota, la misma caerá con una velocidad constante denominada **velocidad terminal**. Cuando hay gotas de diferentes tamaños, sus velocidades de caída variarán en un rango muy amplio.

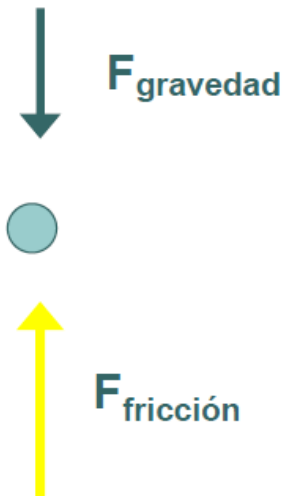
Gota de nube

crecimiento

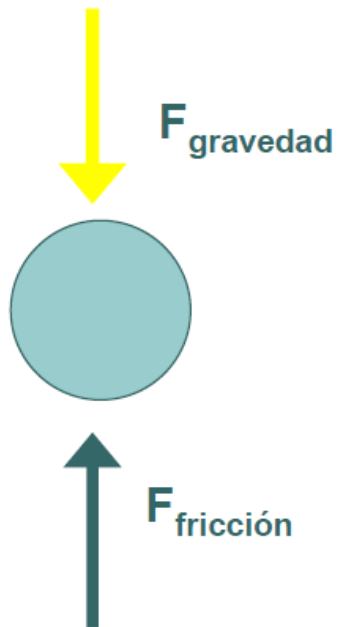
Gota de lluvia

Transcurre tiempo

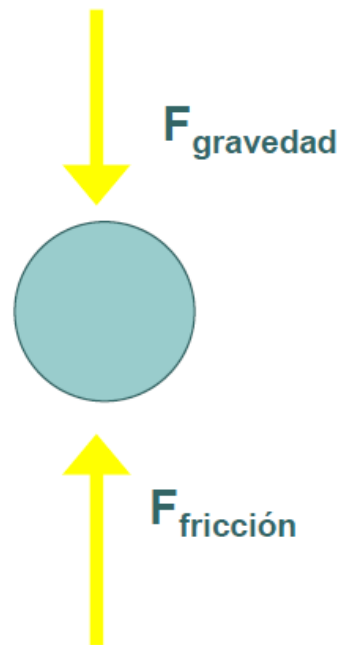
Gota de lluvia @ velocidad terminal



$$F_{\text{gravedad}} < F_{\text{fricción}}$$



$$F_{\text{gravedad}} > F_{\text{fricción}}$$



$$F_{\text{gravedad}} = F_{\text{fricción}}$$

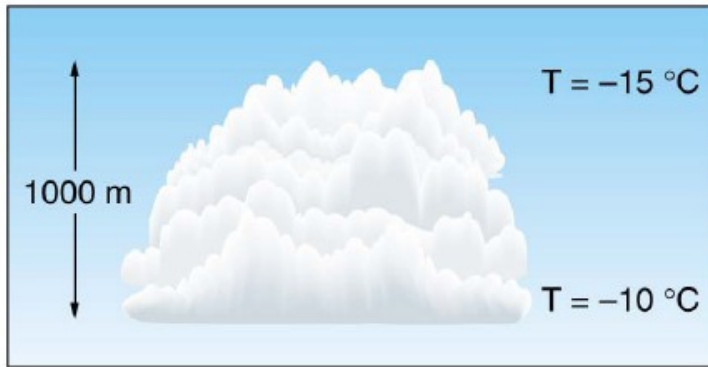
Velocidades terminales para gotas de diferentes tamaños

Clase de gota	Diámetro(mm)	Velocidad terminal (m/s)
Gota de lluvia grande	5	9
Gota de lluvia pequeña	1	4
Lluvia fina	0,5	2,5
Llovizna	0,2	1,5
Gota de nube (grande)	0,1	0,3
Gota de nube (común)	0,05	0,08
Gotas incipientes	0,01	0,003
	0,002	0,0001
	0,001	0,00005



La enorme diferencia de tamaño entre una gota de nube y una de lluvia sugiere que **la condensación no es el único proceso responsable para la formación de gotas grandes** que puedan caer como lluvia sino que debe haber algún otro mecanismo que produzca el crecimiento de las gotas de nubes

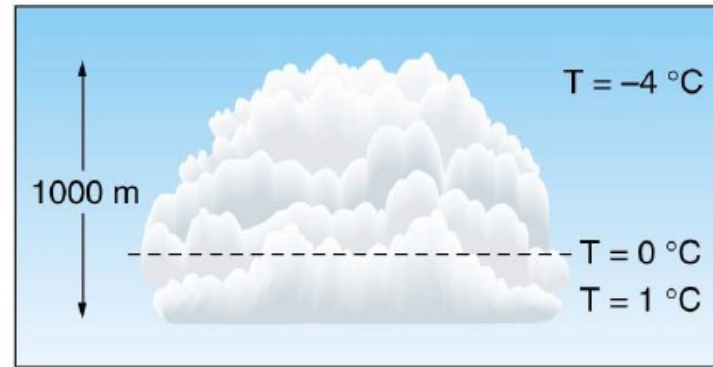
- **Proceso de colisión-coalescencia: NUBES CALIENTES**
- **Proceso de Bergeron: NUBES FRÍAS**



(a)

Nube fría

$T < 0^{\circ}\text{C}$ en toda la nube



(b)

Nube caliente

$T > 0^{\circ}\text{C}$ en la base y $T < 0^{\circ}\text{C}$ en el tope



Colisión-Coalescencia: Crecimiento en nubes cálidas

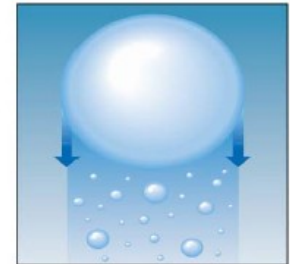
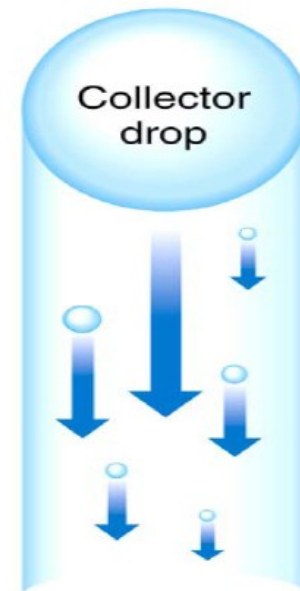
- Nubes con temperaturas $>0^{\circ}\text{C}$ predominan en las regiones tropicales y de latitudes medias durante la estación cálida (nubes cálidas)
- El **proceso de Colisión-coalescencia** genera precipitación
- El proceso se inicia con grandes gotas colectoras que poseen velocidades terminales altas



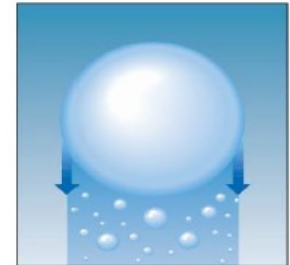
Colisión

Las gotas colectoras colisionan con gotas más pequeñas.

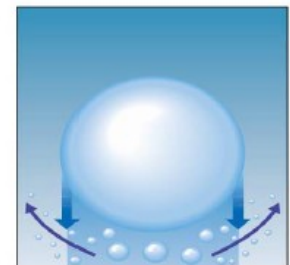
- Si las gotas son demasiado pequeñas: la compresión del aire por debajo de la gota que cae, fuerza el movimiento de las gotas pequeñas hacia afuera
- Si las gotas son demasiado grandes (del tamaño de la gota colectoras): caerá a la misma velocidad y no habrá colisión
- **Por lo tanto, la eficiencia de la colisión es máxima para gotas de tamaño intermedio con respecto al de la gota colectoras.**



(a)



(b)



(c)



Coalescencia

- Cuando ocurre la colisión, las gotas o bien se separan o *coalescen* en una gota más grande
- La eficiencia de la coalescencia es en gral. muy alta indicando que la mayoría de las colisiones termina en dos gotas uniéndose

Proceso de Bergeron: crecimiento en nubes frías

Son las nubes cuya temperatura cumple que:

$$T < 0^{\circ}\text{C} \text{ en toda la nube}$$

Son comunes en latitudes medias.

Las nubes están compuestas en general por: **Agua líquida, Agua sobreenfriada y/o Hielo**. (El agua sobreenfriada puede existir con temperaturas de hasta -40°C ya que para que se forme hielo se requiere de núcleos de congelación que a diferencia de los núcleos de condensación son poco abundantes)

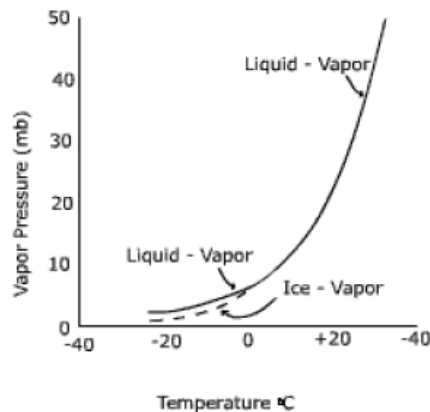
Cumulonimbus : nube fría →

La coexistencia de hielo y agua sobreenfriada es *crítica para la* creación de precipitación en nubes frías: ***proceso de Bergeron***.



Proceso Bergeron

Cuando hay en forma simultánea cristales de hielo, gotas de agua y vapor de agua, comienza este proceso.

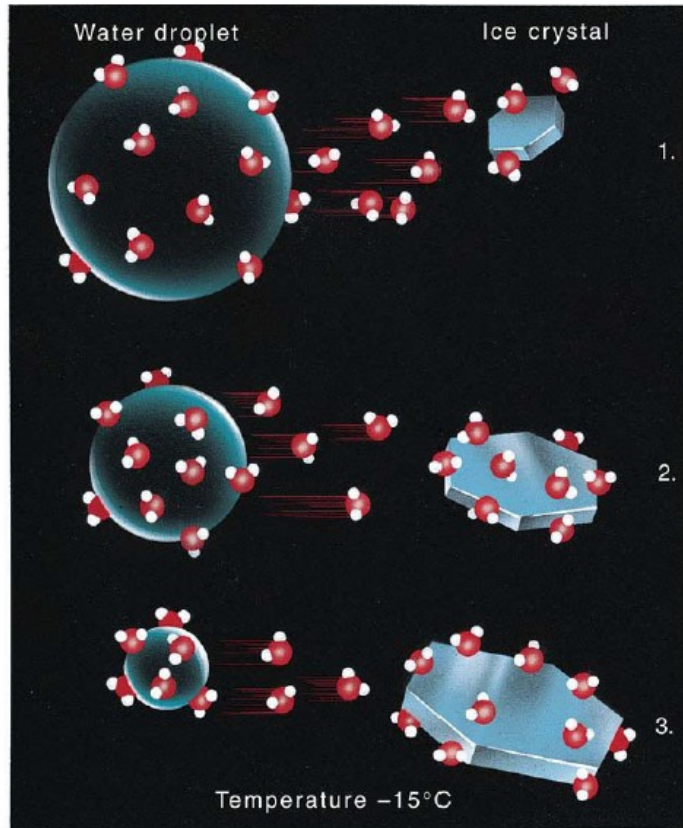


La tensión de vapor de saturación con respecto al hielo es menor que con respecto al agua a la misma temperatura.

- Cuando hay agua y hielo presentes, el vapor se depositará directamente en hielo
- Los cristales de hielo crecen rápidamente a expensas de las gotas sobreenfriadas

Por lo tanto, el aire se vuelve saturado con respecto al agua y supersaturado con respecto al hielo.

La diferencia en la tensión de vapor hace que las moléculas se muevan desde las gotas hacia los cristales de hielo.



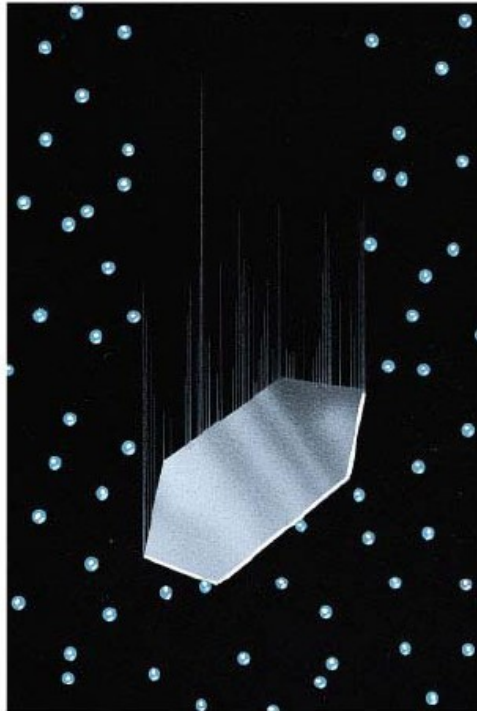


Acreción y Agregación

En gral. el proceso de Bergeron no es capaz de producir cristales lo suficientemente grandes para que haya precipitación.

- El crecimiento posterior se debe a colisiones entre los cristales que caen y gotas → **acreción** and **agregación**
- **Acreción** = el agua líquida se congela sobre los cristales de hielo
- **Agregación** = se unen cristales de hielo
- La colisión combinada con la acreción y agregación permite la formación de cristales lo suficientemente grandes como para precipitar dentro de la 1/2 hora inicial de su formación.

ACRECIÓN



(a) Falling ice crystals may freeze supercooled droplets on contact (accretion), producing larger ice particles.



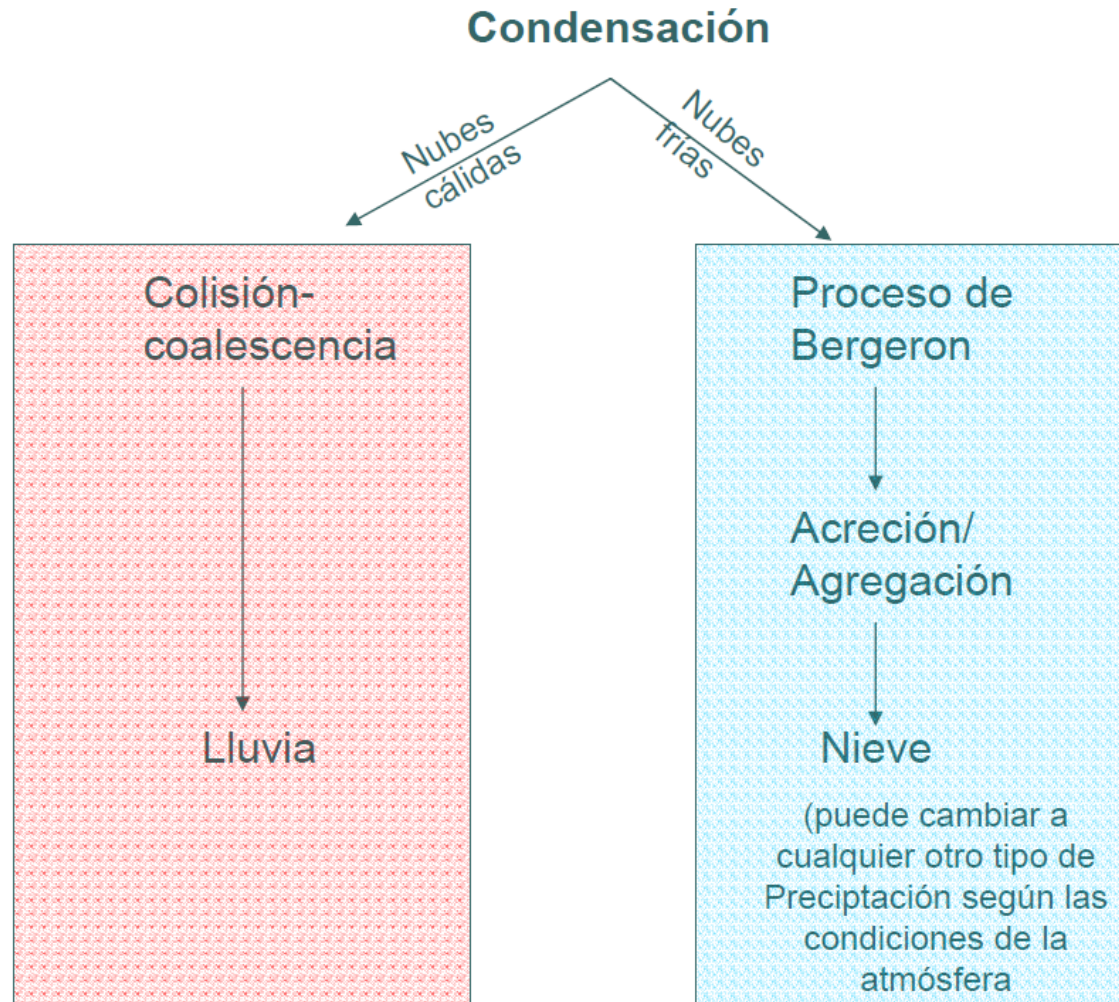
(b) Falling ice particles may collide and fracture into many tiny (secondary) ice particles.

AGREGACIÓN



(c) Falling ice crystals may collide and stick to other ice crystals (aggregation), producing snowflakes.

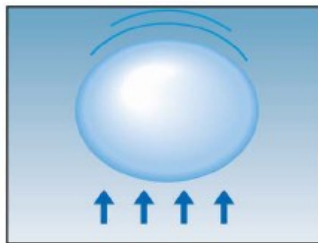
Resumen de los procesos que originan la precipitación



Forma de las gotas de lluvia

Inicialmente son esféricas pero a medida que actúa la fuerza de fricción se van deformando.

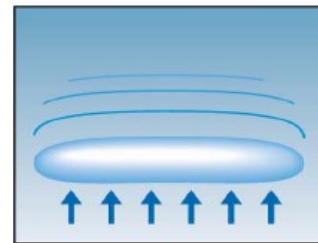
El tamaño máximo de una gota es de aprox. 5 mm.



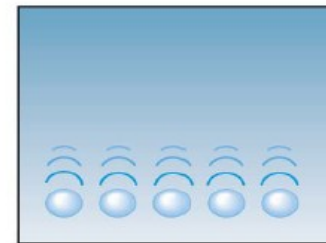
(a)



(b)



(c)



(d)

- <https://www.youtube.com/watch?v=SesRroclFtc>

Clasificación de nubes

TABLE 4.2 The Four Major Cloud Groups and Their Types

1. High clouds	3. Low clouds
Cirrus (Ci)	Stratus (St)
Cirrostratus (Cs)	Stratocumulus (Sc)
Cirrocumulus (Cc)	Nimbostratus (Ns)
2. Middle clouds	4. Clouds with vertical development
Altostratus (As)	Cumulus (Cu)
Alto cumulus (Ac)	Cumulonimbus (Cb)

- Por altura de la base, se clasifican en:
- Nubes bajas: 0-2000 m
- Nubes medias: 2000-7000 m
- Nubes altas: 5000-13000 m
- Nubes de desarrollo vertical o convectivas

TABLE 4.3 Approximate Height of Cloud Bases above the Surface for Various Locations

Cloud Group	Tropical Region	Middle Latitude Region	Polar Region
High Ci, Cs, Cc	20,000 to 60,000 ft (6000 to 18,000 m)	16,000 to 43,000 ft (5000 to 13,000 m)	10,000 to 26,000 ft (3000 to 8000 m)
Middle As, Ac	6500 to 26,000 ft (2000 to 8000 m)	6500 to 23,000 ft (2000 to 7000 m)	6500 to 13,000 ft (2000 to 4000 m)
Low St, Sc, Ns	surface to 6500 ft (0 to 2000 m)	surface to 6500 ft (0 to 2000 m)	surface to 6500 ft (0 to 2000 m)

Nubes Bajas



- Stratus (St)



- Stratocumulus (Sc)



- Nimbostratus (Ns)

Nubes Medias



- Altocumulus (Ac)



- Altostratus (As)

Nubes Altas



- Cirrus (Ci)



- Cirrocumulus (Cc)



- Cirrostratus (Cs)

Nubes de Desarrollo Vertical



- Cumulus (Cu)
(Cumulus humilis o cumulus de buen tiempo)



- Cumulus Congestus o torre cumulus. Se encuentran en pleno desarrollo vertical



- Cumulonimbus (Cb)

¿Cómo se ven desde arriba?

