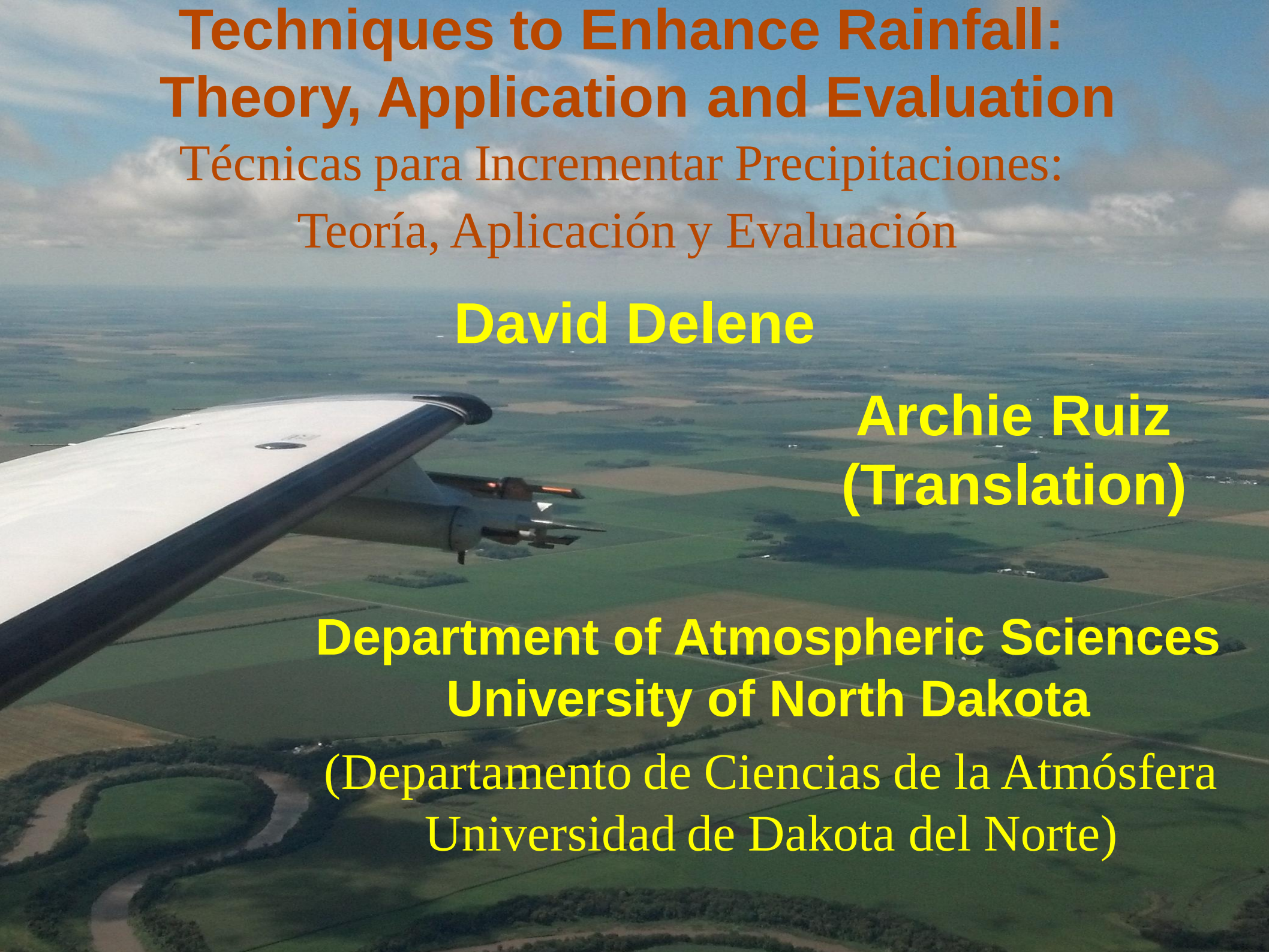




# **Techniques to Enhance Rainfall: Theory, Application and Evaluation**

**Técnicas para Incrementar Precipitaciones:  
Teoría, Aplicación y Evaluación**

**David Delene**

**Archie Ruiz  
(Translation)**

**Department of Atmospheric Sciences  
University of North Dakota**

**(Departamento de Ciencias de la Atmósfera  
Universidad de Dakota del Norte)**

# Motivation for Rainfall Enhancement

## (Motivación para el incremento de lluvia)

**Two thirds of Chile faces desertification** - Two thirds of Chile's territory is facing desertification in which the bone-dry Atacama Desert grows by over a meter (3.3 feet) a day, President Sebastian Pinera warned.

**Dos terceras partes de Chile se enfrentan a la desertificación** - El presidente Sebastián Piñera advirtió que dos terceras partes del territorio de Chile se enfrentan a la desertificación en la que el desierto de Atacama completamente seco crece en más de un metro (3.3 pies) por día,.

Phys.org, June 17, 2013, <http://phys.org/news/2013-06-thirds-chile-desertification.html>

**A CL\$1,600-million cloud seeding program is being coordinated by the Comision Nacional de Riego (CNR), and is making use of public and private resources.**

Un programa chileno de siembra de nubes por \$ 1.600 millones es coordinado por la Comisión Nacional de Riego (CNR), que hace uso de recursos públicos y privados.

I Love Chile News, May 27, 2013, <http://www.ilovechile.cl/2013/05/27/cloud-seeding-chile/86667>

# Impact of Measurements

## (Impacto de las mediciones)

**“The returns [of science] are so large that it is hardly necessary to justify or evaluate the investment”**

"Las declaraciones [de la ciencia] son tan grandes que casi no es necesario justificar o evaluar la inversión"

National Science Foundation. 1957, Basic Research: A National Resource, page 61

**“A \$3.8 billion investment drove \$796 billion in economic impact, create 310,000 jobs and launched the genomic revolution.”**

**Economic Impact of the Human Genome Project.**

"Una inversión de \$ 3,800,000,000 llevó 796 mil millones dólares en impacto económico, creó 310,000 puestos de trabajo y puso en marcha la revolución genómica." Impacto Económico del Proyecto del Genoma Humano.

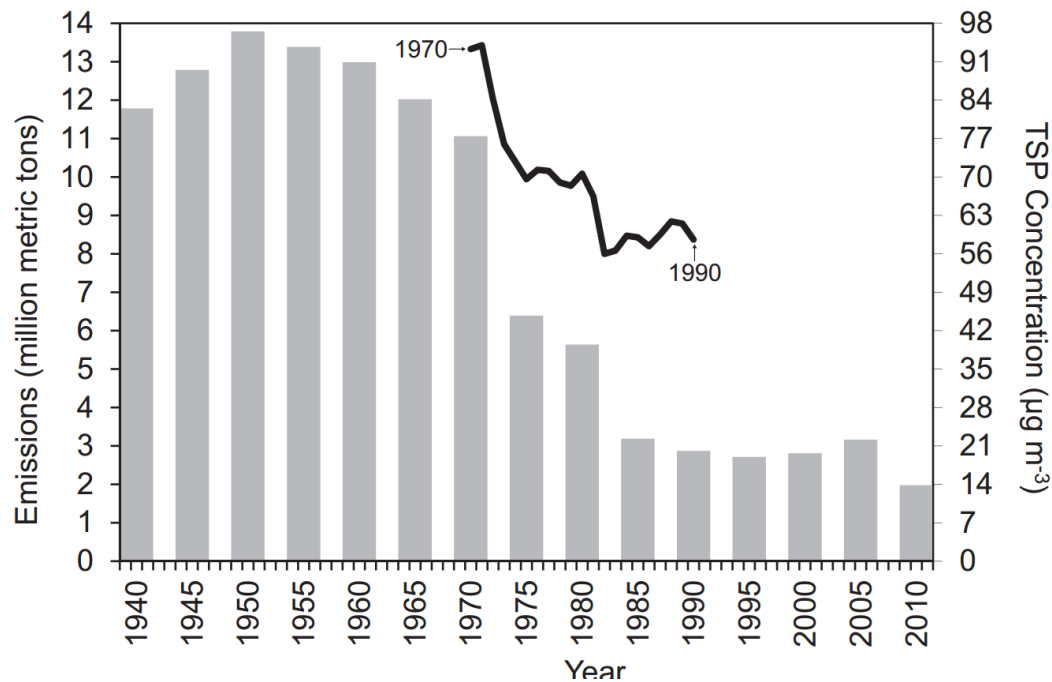
National Academies (US) Committee on Measuring Economic and Other Returns on Federal Research Investments.

Measuring the Impacts of Federal Investments in Research: A Workshop Summary. Washington (DC): National Academies Press (US); 2011. 8, EMERGING METRICS AND MODELS. Available from:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK83139/>

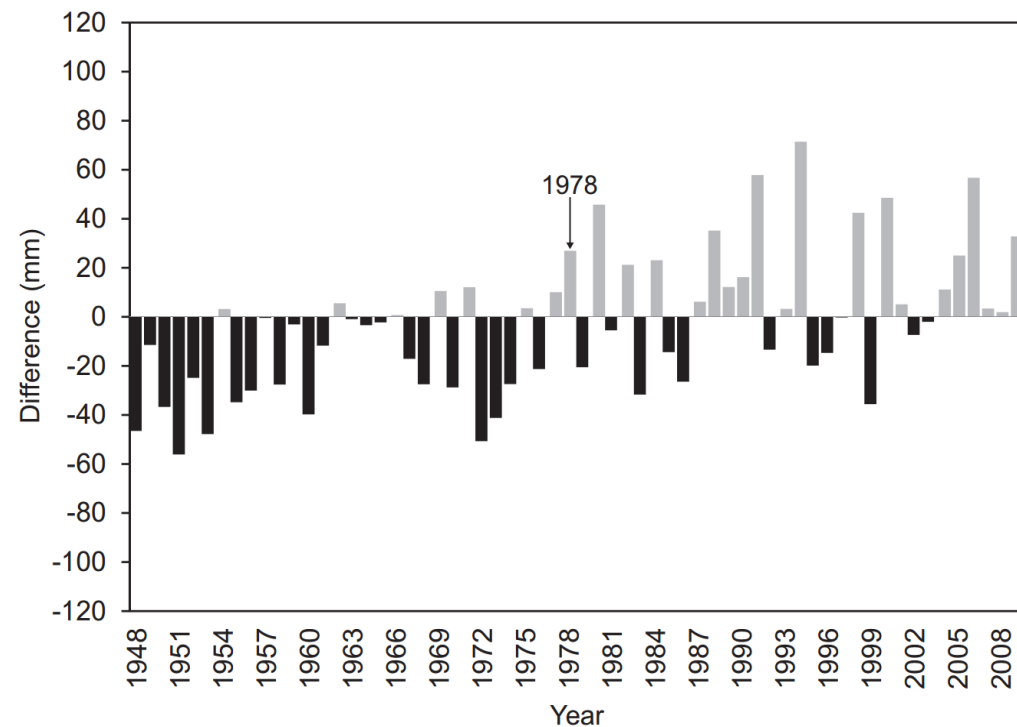


# Measurements Indicate Aerosols Affect (Las mediciones indican que los aerosoles afectan)



**National PM<sub>10</sub> emissions from 1940 to 2010 and the mean total suspended particulate (TSP) concentration from 1970 to 1990 in Atlanta Georgia.**

Emisiones nacionales de PM<sub>10</sub> desde 1940 hasta 2010 y el promedio total de la concentración de partículas suspendidas (TSP) 1970-1990 en Atlanta Georgia.



**Mean differences between observed and predicted seasonal rainfall totals for the nine stations in Atlanta, Georgia USA region.**

Las diferencias medias entre los totales de lluvia estacional observados y predichos para los nueve estaciones en Atlanta, Georgia, EE.UU. región.

Figures from Jeremy E. Diem, The 1970 Clean Air Act and termination of rainfall suppression in a U.S. urban area, Atmospheric Environment, Volume 75, August 2013, Pages 141-146, ISSN 1352-2310, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.04.041>.

# Objective (objetivo)

- **Describe the theory related to how aerosols affect precipitation processes.**

(Describir la teoría relacionada con cómo los aerosoles influyen en los procesos de precipitación.)



**Dust in Saudi Arabia on April 8, 2009**

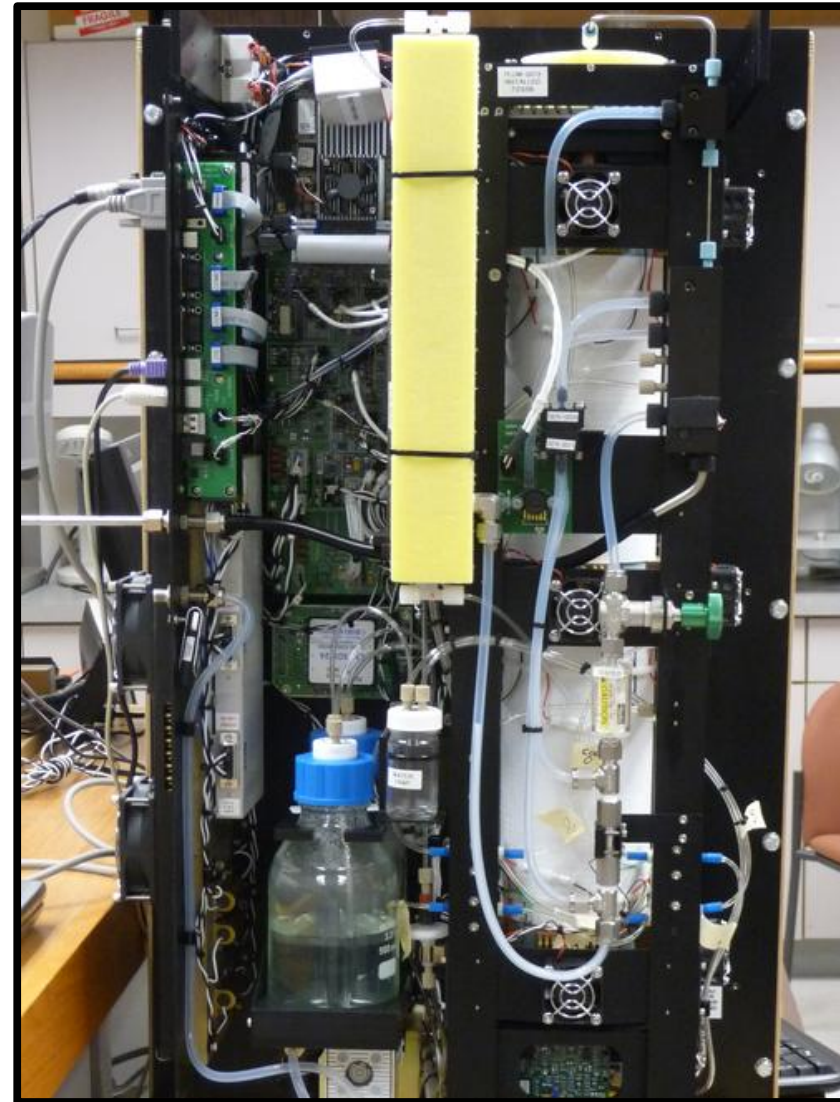


**Particles from Hygroscopic Flares**

# Aerosol Importance

(Importancia de los Aerosoles)

- **Media for Chemical Reactions**  
(Sitios para Reacciones Químicas)
- **Scatter and Absorb Radiation**  
(Dispersan y absorben la radiación)
- **Serve as Cloud Condensation Nuclei and Ice Nuclei**  
(Sirven como Núcleos Nubosos de Condensación y Núcleos de Hielo)



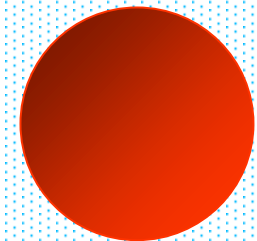
## Supersaturated Water Vapor Environment

(Supersaturada Ambiente Vapor de Agua)

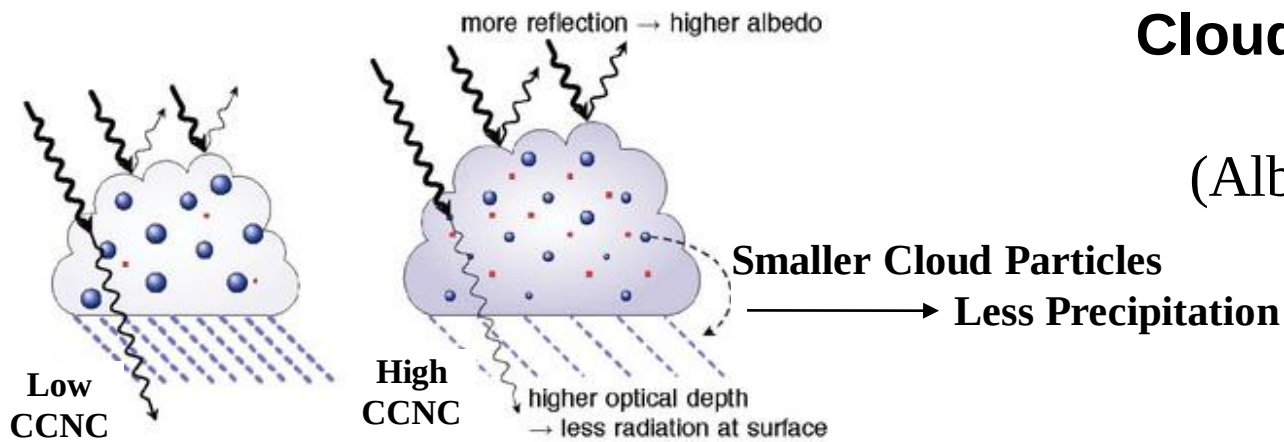
Undetectable Particle  
(partícula indetectable)

**Relative Humidity > 100 %**  
(Humedad relativa > 100%)

**Detectable Particle**  
(Partícula detectable)



# Aerosol-Cloud-Precipitation (Aerosol-Nube-Precipitación)



## Cloud Albedo and Lifetime Effect

### Less Precipitation

(Albedo de Nube y Efecto sobre la Vida de la Nube

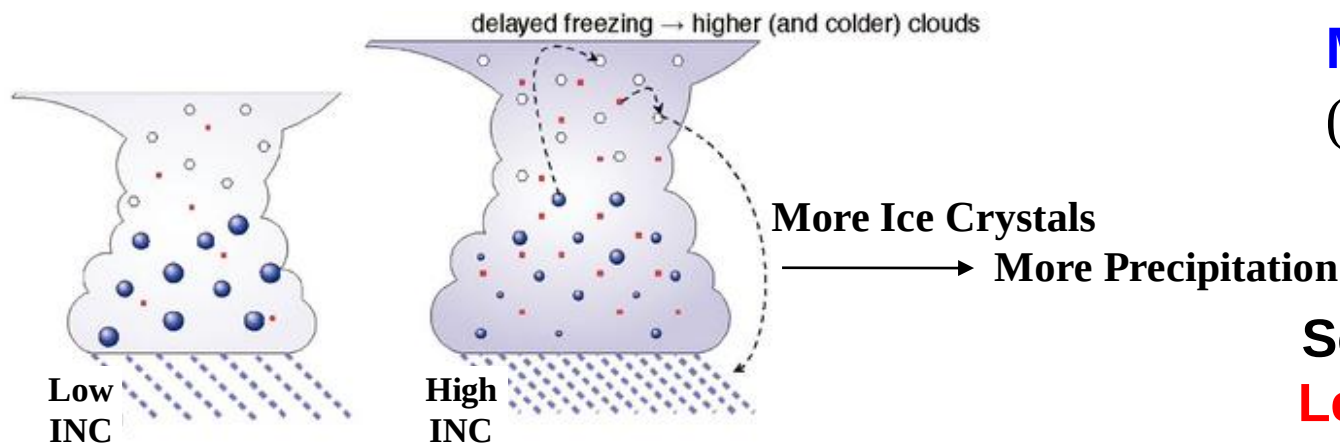
### Menos Precipitación)

## Glaciation Effect

### More Precipitation

(Efecto de Glaciación

### Más Precipitación)

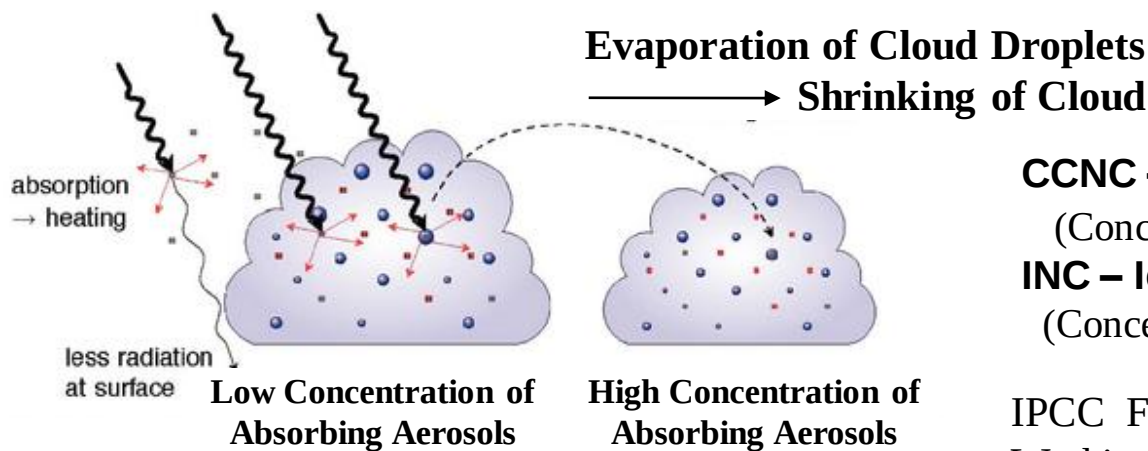


## Semi-direct Effect

### Less Precipitation

(Efecto Semi-directo

### Menos Precipitación)



**CCNC – Cloud Condensation Nuclei Concentration**

(Concentración de los Núcleos Nubosos de Condensación)

**INC – Ice Nuclei Concentration**

(Concentración de los Núcleos de Hielo)



# **Aerosol Size Distributions**

## **(Distribuciones de tamaño de aerosol)**

- **Aerosol are characterized by its size, shape, phase, and chemical composition.**

(Los aerosoles se caracterizan por su tamaño, forma, fase, y la composición química.)

- **Measures of aerosol concentrations must be given in some integral form by summing over all particles.**
- (Mediciones de las concentraciones de aerosoles deben ser hechas en forma integral sumando sobre todas las partículas.)
- **The aerosol size distribution must be treated as a continuous function.**

( La distribución de tamaño de los aerosoles debe ser tratada como una función continua.)



# Major Aerosol Modes (Modos de aerosol principales)

**Condensation from Vapor**

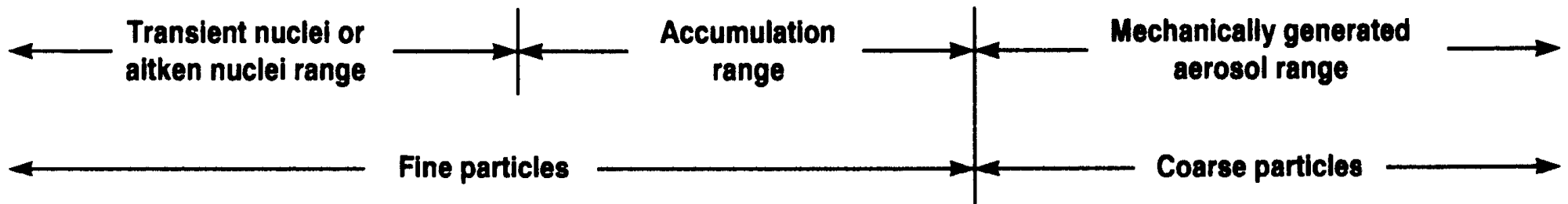
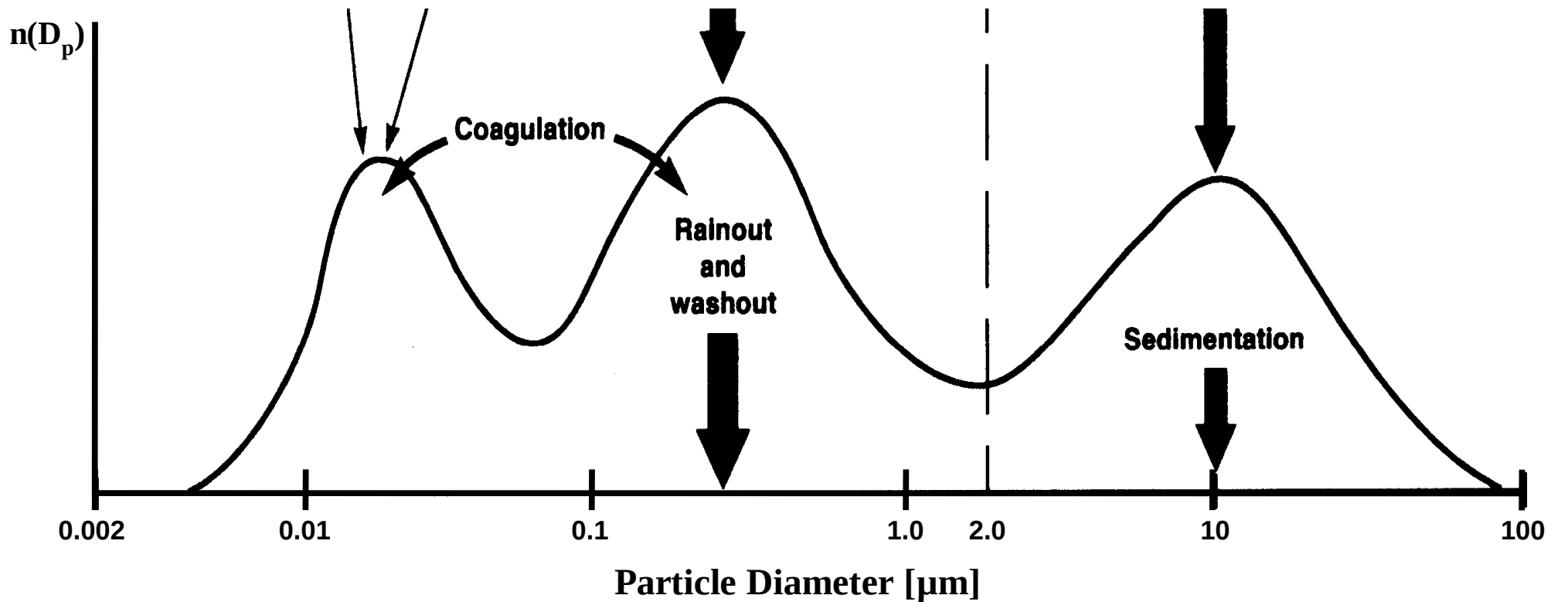
(La condensación de vapor)

**Coagulation of Aerosols**

(La coagulación de aerosoles)

**Mechanical Generation**

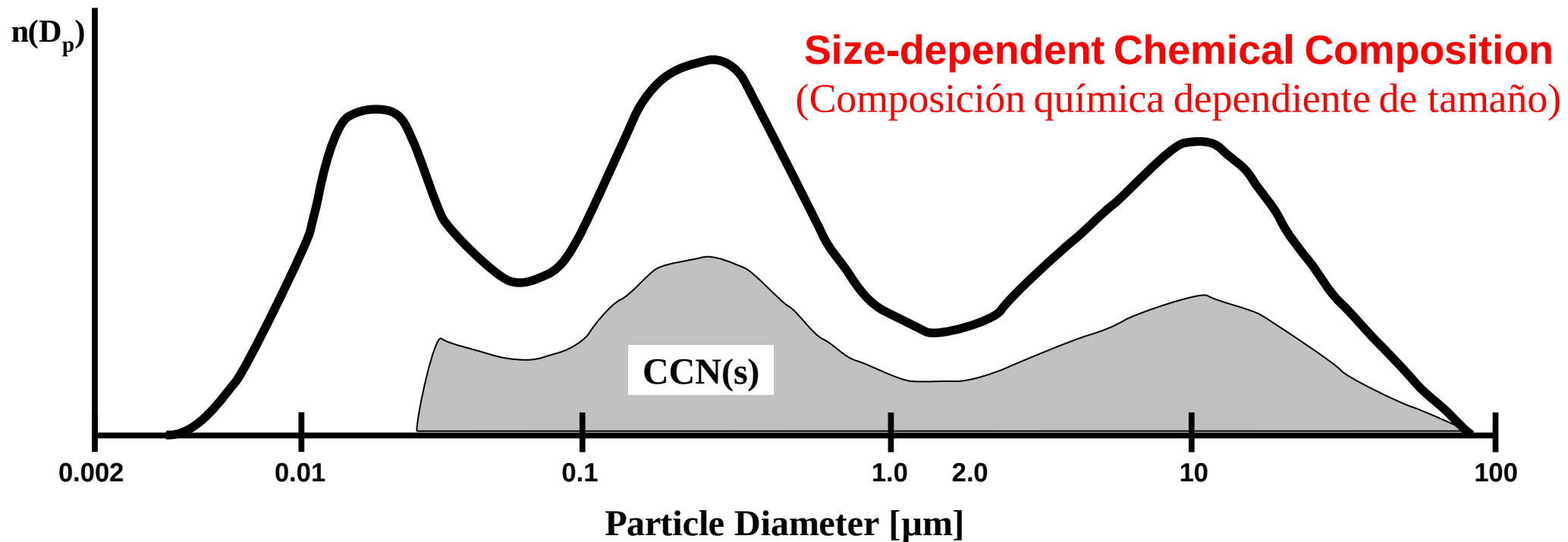
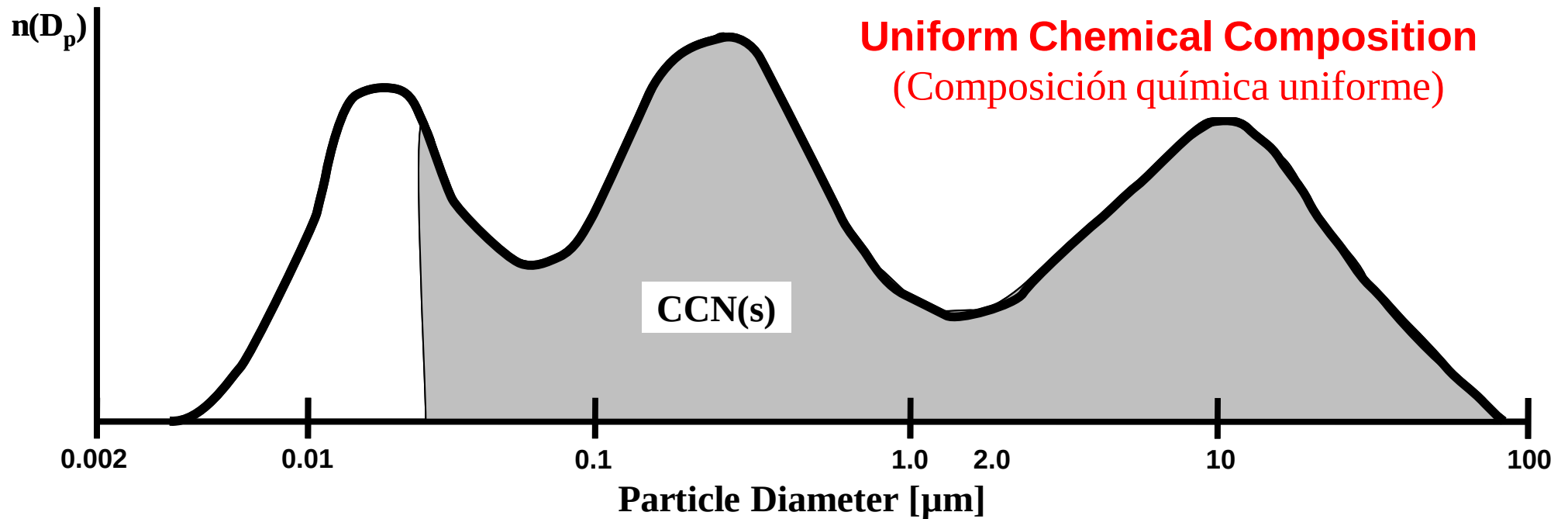
(Generación mecánica)



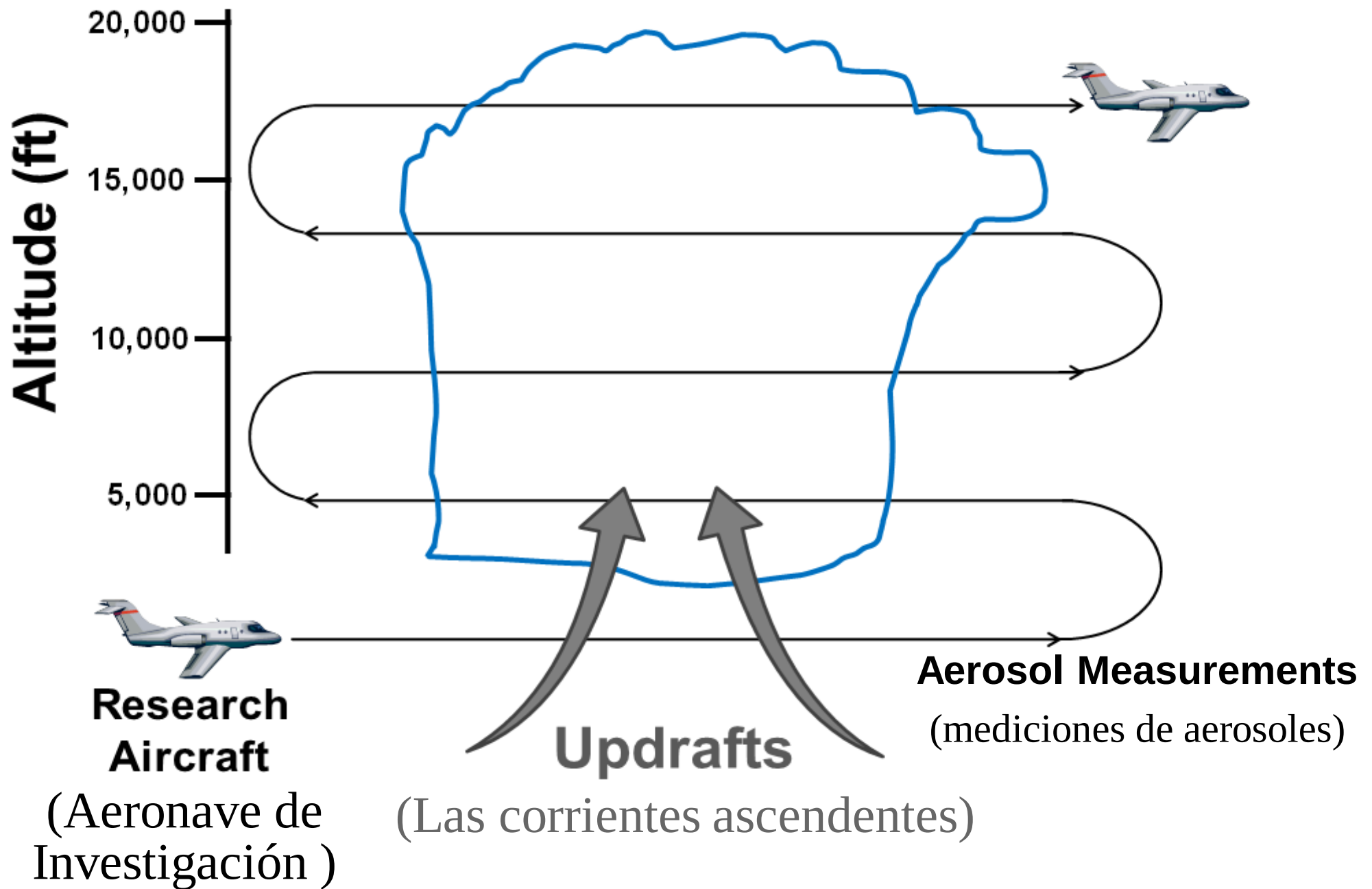
Modified from Singh Figure 5.4  
Composition, Chemistry and  
Climate of the Atmosphere

**Supersaturation Increases, Higher CCN Concentration**  
(Aumenta la sobresaturación, mayor concentración de NNC)

# Aerosol Modes and CCN (Modos de aerosol principales)



# Surface Based Convective Cloud (nube convectiva basada en superficie)



# Education (Educación)

- **Classes at the University of North Dakota.**

(Las clases en la Universidad de Dakota del Norte.)

- **Atmospheric Chemistry\*** (Química Atmosférica)
- **Measurement Systems\*** (Sistemas de Medición)
- **Computer Concepts\*** (Conceptos informáticos)
- **Numerical Methods** (Métodos Numéricos)
- **Statistical Methods** (Métodos Estadísticos)
- Cloud Physics (Física de las Nubes)
- Radar Meteorology (Meteorología de Radar)
- Weather Modification (Modificación artificial del Tiempo)

**\* Overheads and Audio Files <http://aerosol.atmos.und.edu>**

- **Journal of Weather Modification**

(Revista de Modificación del Tiempo)

**<http://www.weathermodification.org/publications/>**



# Questions or Comments

*(Preguntas o comentarios)*

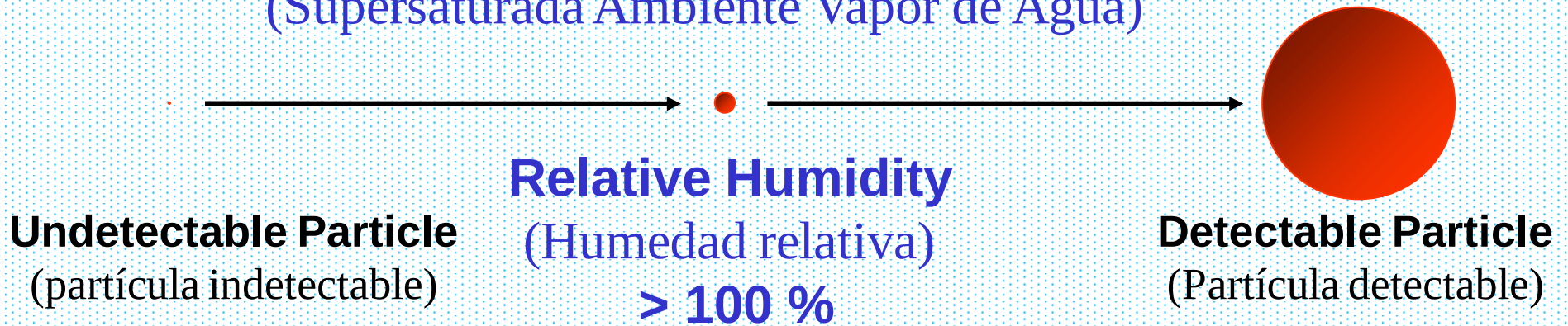


# Grow Aerosols to Detectable Size

(Crecimiento de aerosoles a tamaños detectables)

## Supersaturated Water Vapor Environment

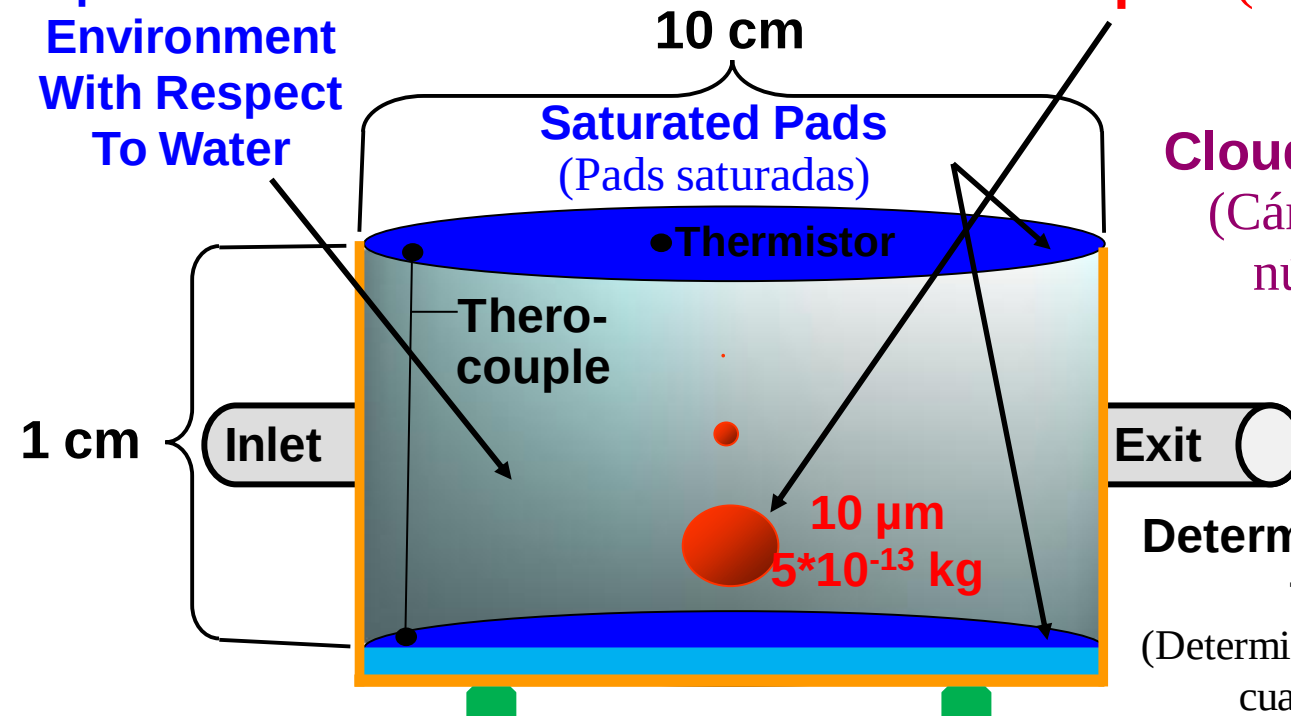
(Supersaturada Ambiente Vapor de Agua)



Supersaturated Environment With Respect To Water

Grow to Form Droplet (Crecimiento para formar gotas)

Diffusion Chamber of a Cloud Condensation Nuclei Counter (Cámara de difusión de un contador de núcleos nubosos de condensación)

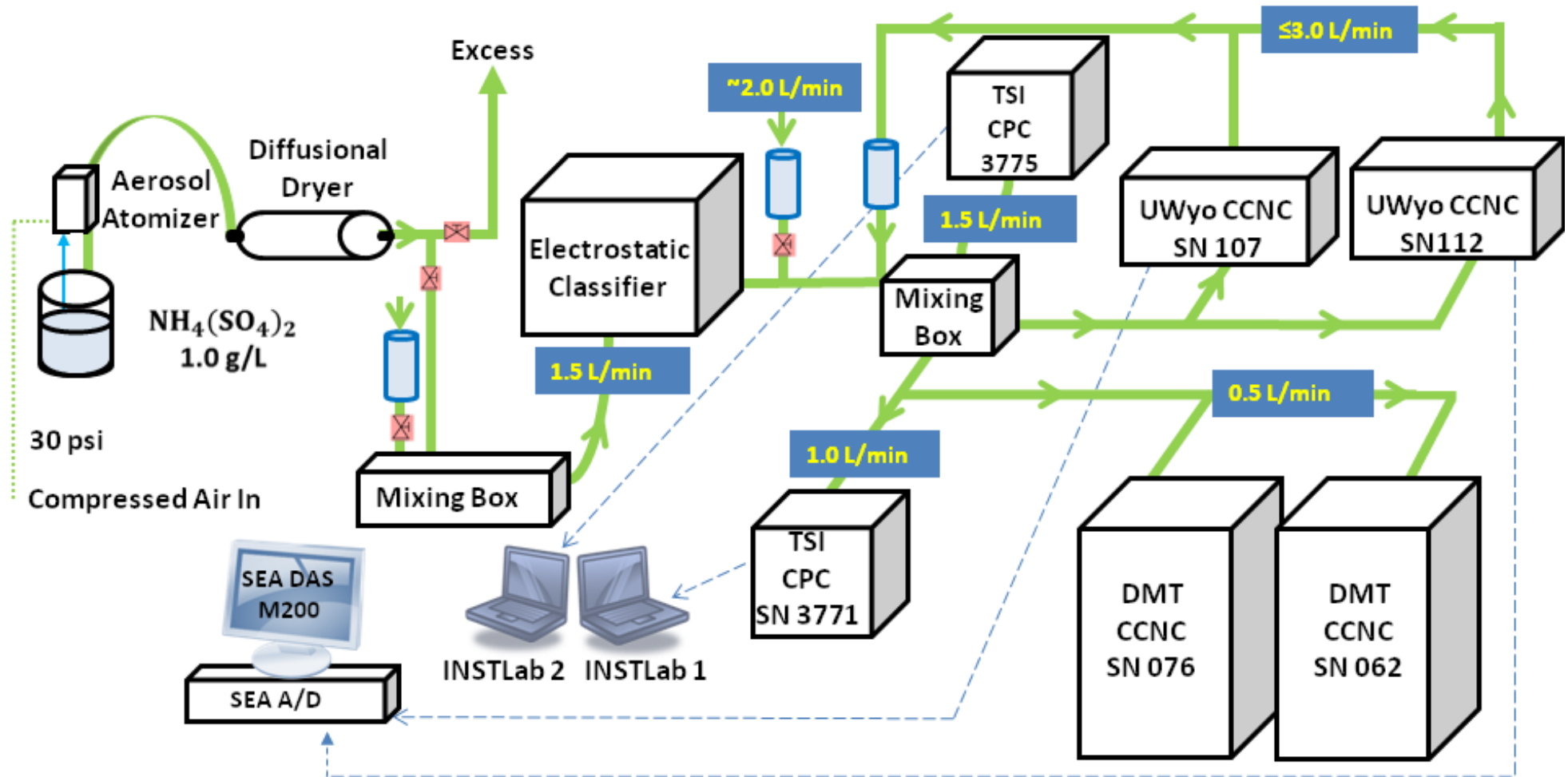


Determines the number of particles in air that cloud droplets form on.

(Determina el número de partículas en el aire sobre los cuales se forman en las gotas de las nubes.)

# CCN Counter Lab Calibration Setup

(Configuración de la calibración de laboratorio de un contador de NNC)



Interface



Valve



Filter



Direction of Air Flow



Direction of Water Flow

DMT CCNC - Droplet Measurement Technology Cloud Condensation Nuclei Counter

SEA A/D - Science Engineering Associates Analog to Digital Board

SEA DAS - Science Engineering Associates Data Acquisition System

TSI CPC - TSI Inc. Cloud Particle Concentration

Uwyo CCNC - University of Wyoming Cloud Condensation Nuclei Counter