

Theory, Application and Evaluation Of Rainfall Enhancement Techniques

**(Teoría, Aplicación y Evaluación
Técnicas de mejora de la precipitación)**

David Delene

**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 la Mejora 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 enfrenta a la desertificación - Dos terceras partes del territorio de Chile se enfrenta a la desertificación en la que el desierto de Atacama completamente seca crece en más de un metro (3,3 pies) por día, el presidente Sebastián Piñera advirtió.

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.

A \$ 1.600 millones del programa de siembra de nubes CL está siendo coordinado por la Comisión Nacional de Riego (CNR), y está haciendo uso de los 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 para justificar o evaluar la inversión"

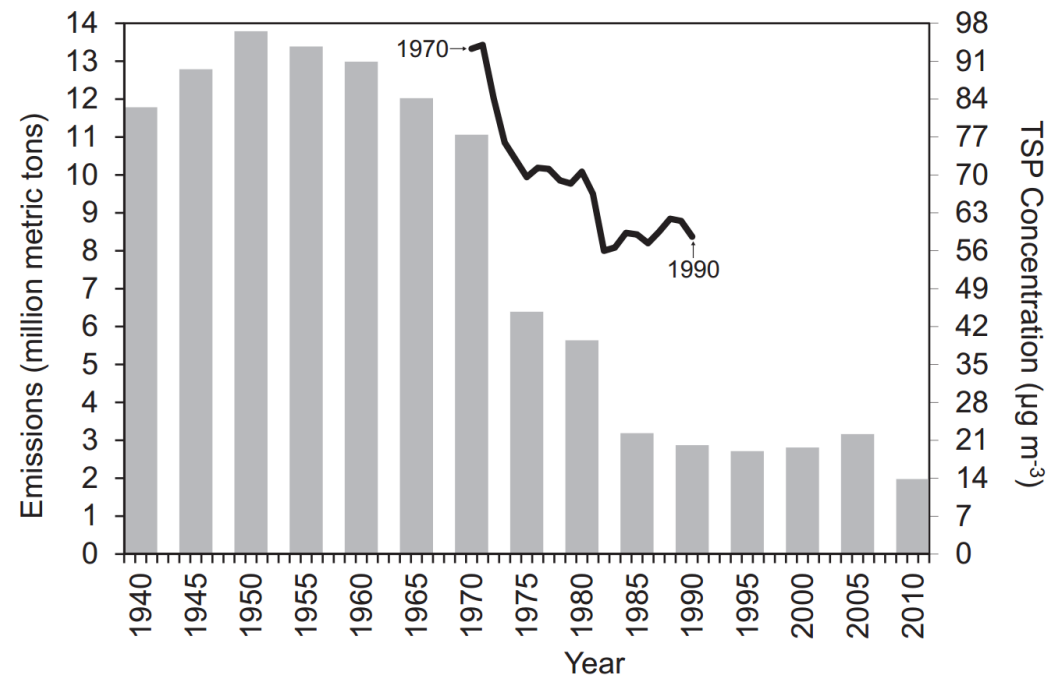
National Science Foundation. 1957, Basic Research: A National Resource, page 61

**“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, crear 310.000 puestos de trabajo y puso en marcha la revolución genómica." Impacto Económico del Proyecto del Genoma Humano.

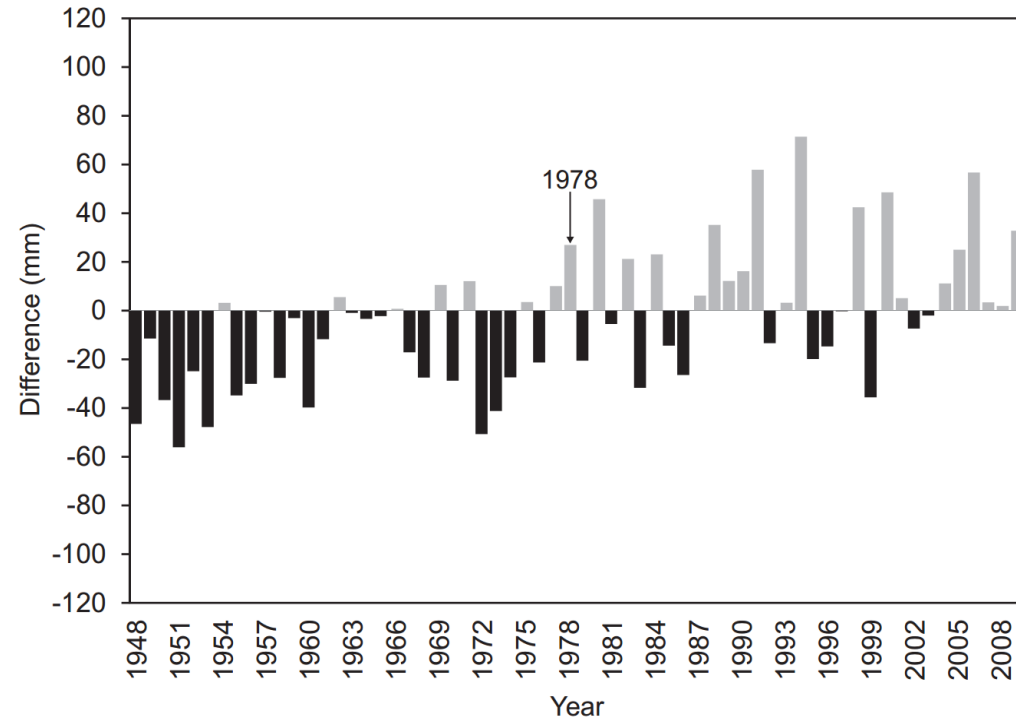
National Academies (US) Committee on Measuring Economic and Other Returns on Federal Research Investments. Measuring the Impacts of Federal Investments in Research: A Workshop Summary. Washington (DC): National Academies Press (US); 2011. 8, EMERGING METRICS AND MODELS. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK83139/>

Measurements Indicate Aerosols Affect (Las mediciones indican aerosoles afectan)



National PM₁₀ emissions from 1940 to 2010 and the mean total suspended particulate (TSP) concentration from 1970 to 1990 in Atlanta Georgia.

Nacional de las emisiones de PM₁₀ desde 1940 hasta 2010 y la concentración de partículas suspendidas totales promedio (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 estacionales 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.)

- **Describe how the POLCAST project is Researching the effects of aerosols on precipitation.**

(Describir cómo el proyecto POLCAST está investigando los efectos de los aerosoles en las precipitaciones.)



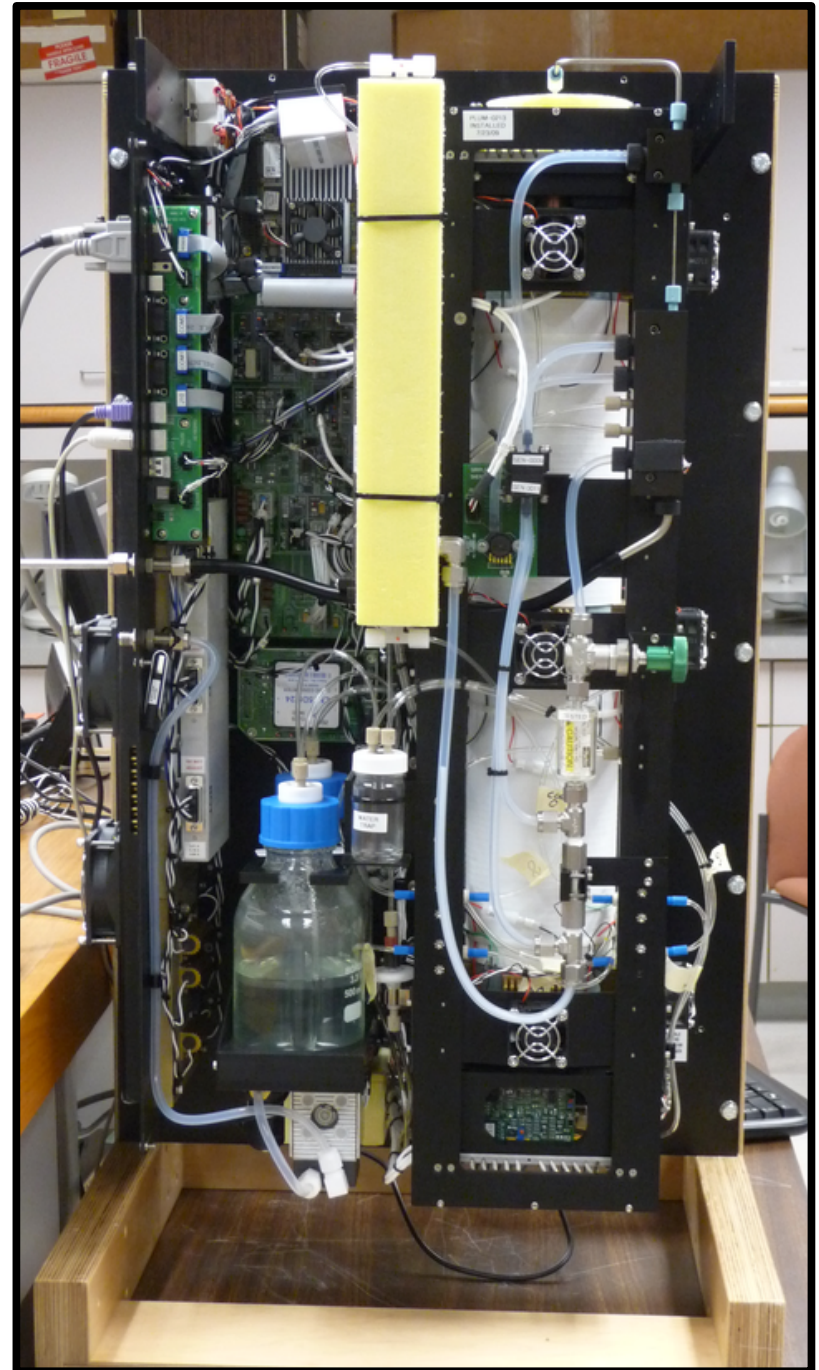
Dust in Saudi Arabia on April 8, 2009



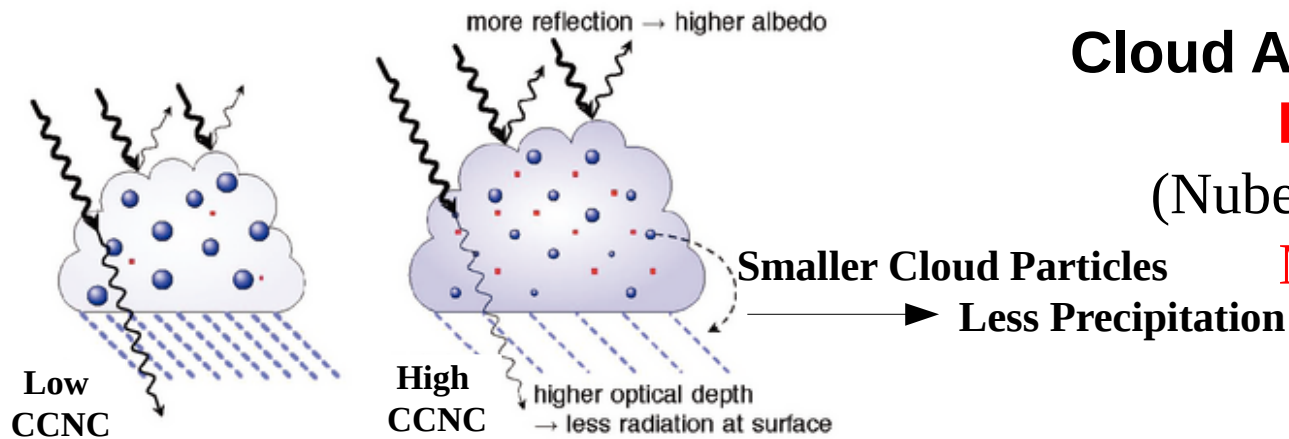
View of Cumulus Cloud on July 12, 2012

Aerosol Importance (Importancia Aerosol)

- **Media for Chemical Reactions**
(Medios de Reacciones Químicas)
- **Scatter and Absorb Radiation**
(Dispersan y absorben la radiación)
- **Serve as Cloud Condensation Nuclei and Ice Nuclei**
(Servir como núcleos de condensación y Núcleos de Hielo)



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

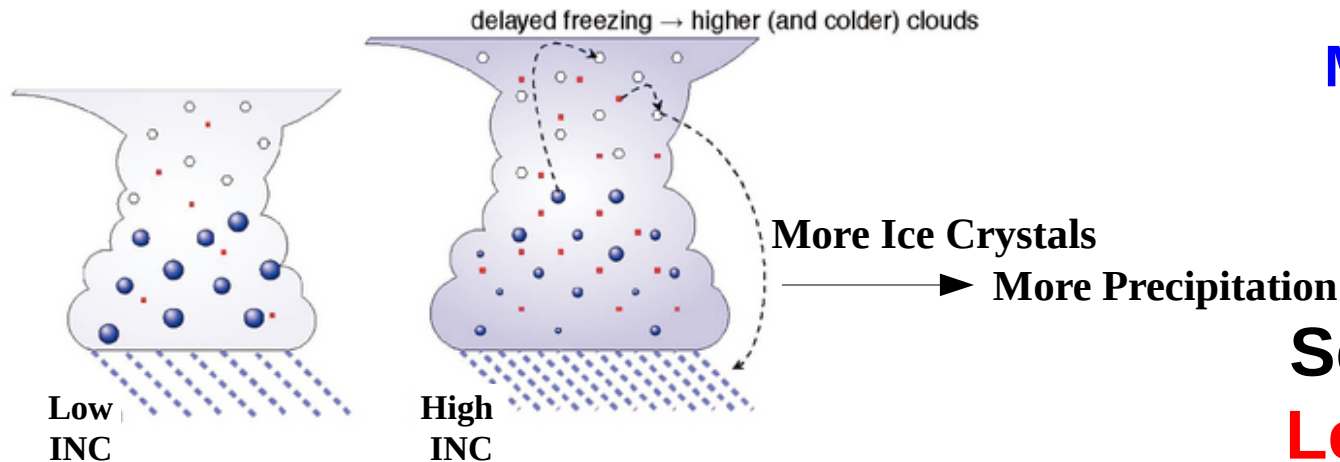


Cloud Albedo and Lifetime Effect

Less Precipitation

(Nube Albedo y Efecto Lifetime)

Menos Precipitación



Glaciation Effect

More Precipitation

(Efecto Glaciación)

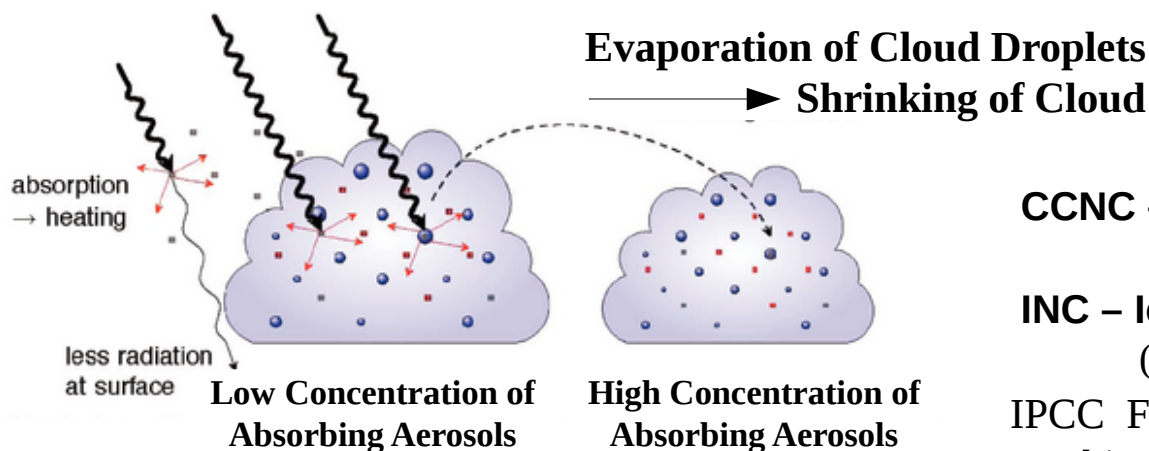
Más Precipitación

Semi-direct Effect

Less Precipitation

(Efecto Semi-directa)

Menos Precipitación



CCNC – Cloud Condensation Nuclei Concentration

(Nube de núcleos de condensación Concentración)

INC – Ice Nuclei Concentration

(Los núcleos de hielo Concentración)

IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007:
Working Group 1: The Physical Science Basis, Figure 7.20

Aerosol Size Distributions

(Distribuciones de tamaño de aerosol)

- **Aerosol are characterized by its size, shape, phase, and chemical composition.**
(Aerosol 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.**
- (Measures of aerosol concentrations must be given in some integral form by summing over all particles.)
- **The aerosol size distribution must be treated as a continuous function.**
(La distribución de tamaño de aerosol debe ser tratada como una función continua.)

Major Aerosol Modes (Modos de aerosol principales)

Condensation from Vapor

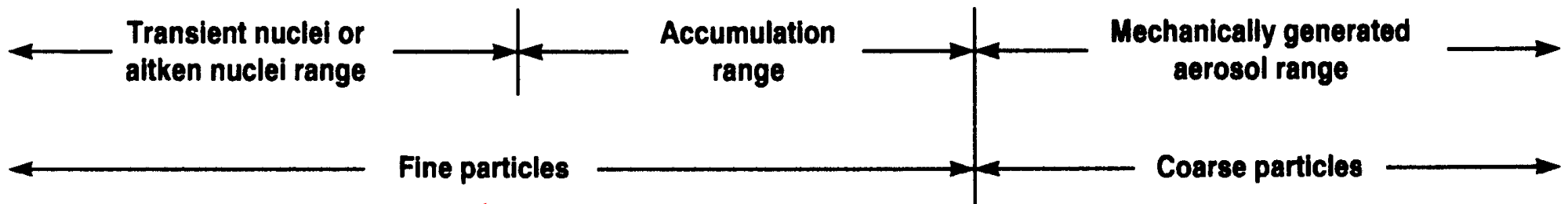
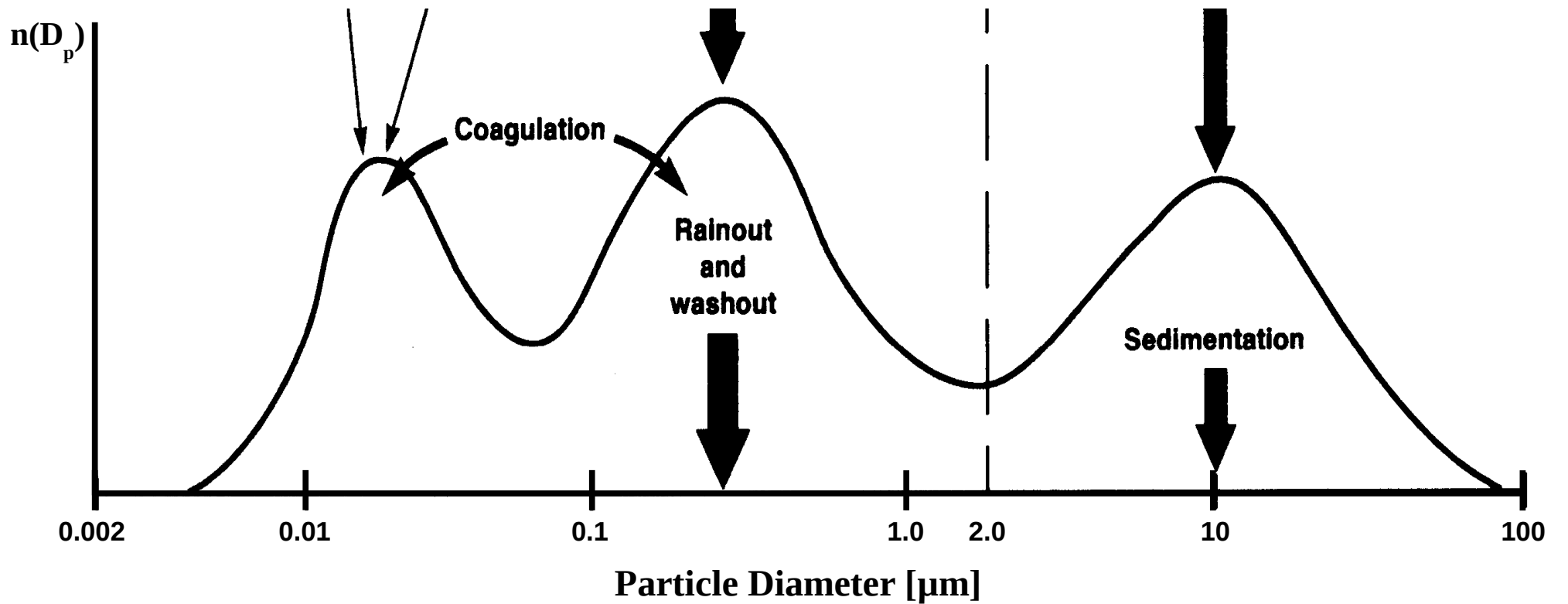
(La condensación de vapor)

Coagulation of Aerosols

(La coagulación de aerosoles)

Mechanical Generation

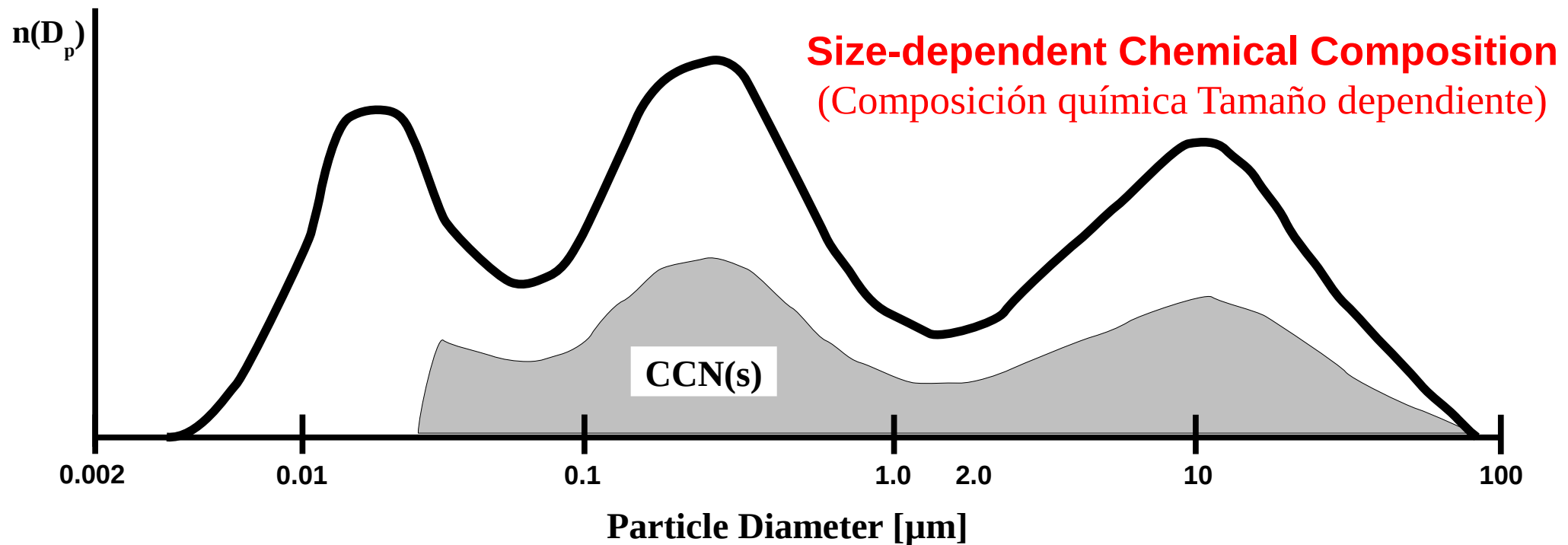
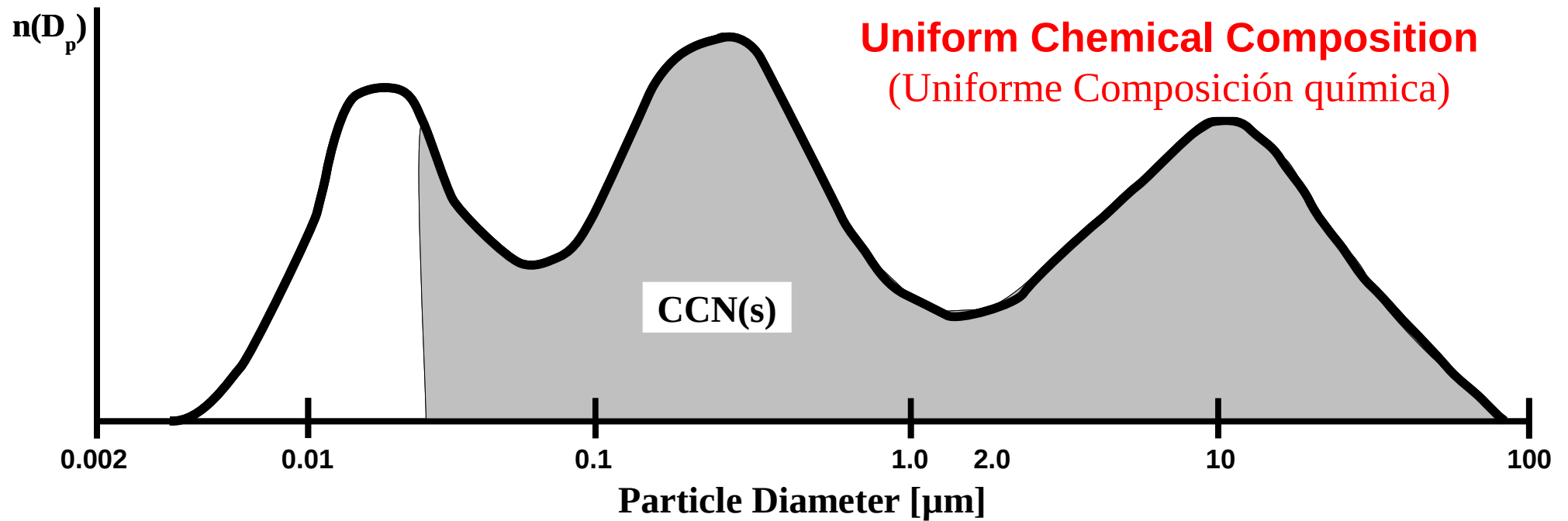
(Generación mecánica)



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

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

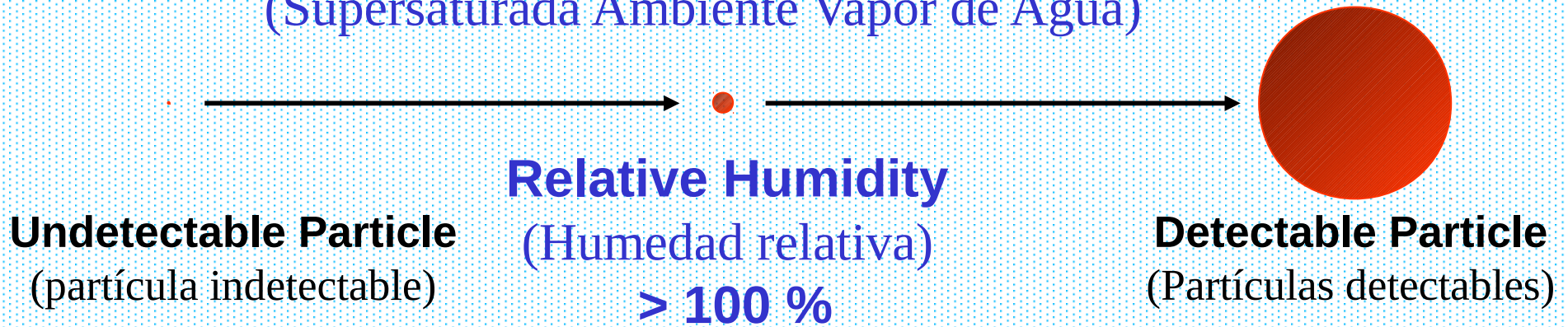
Aerosol Modes and CCN (Modos de aerosol principales)



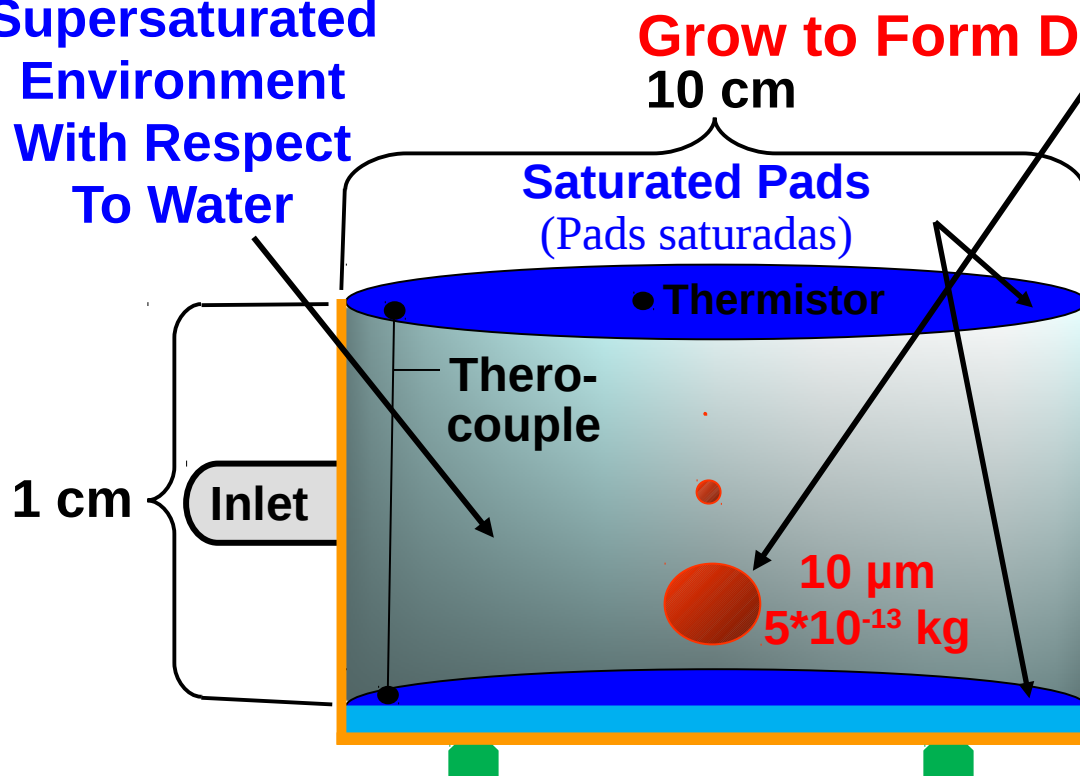
Grow Aerosols to Detectable Size

(Crecer aerosoles de tamaño detectable)

Supersaturated Water Vapor Environment
(Supersaturada Ambiente Vapor de Agua)



Supersaturated Environment With Respect To Water



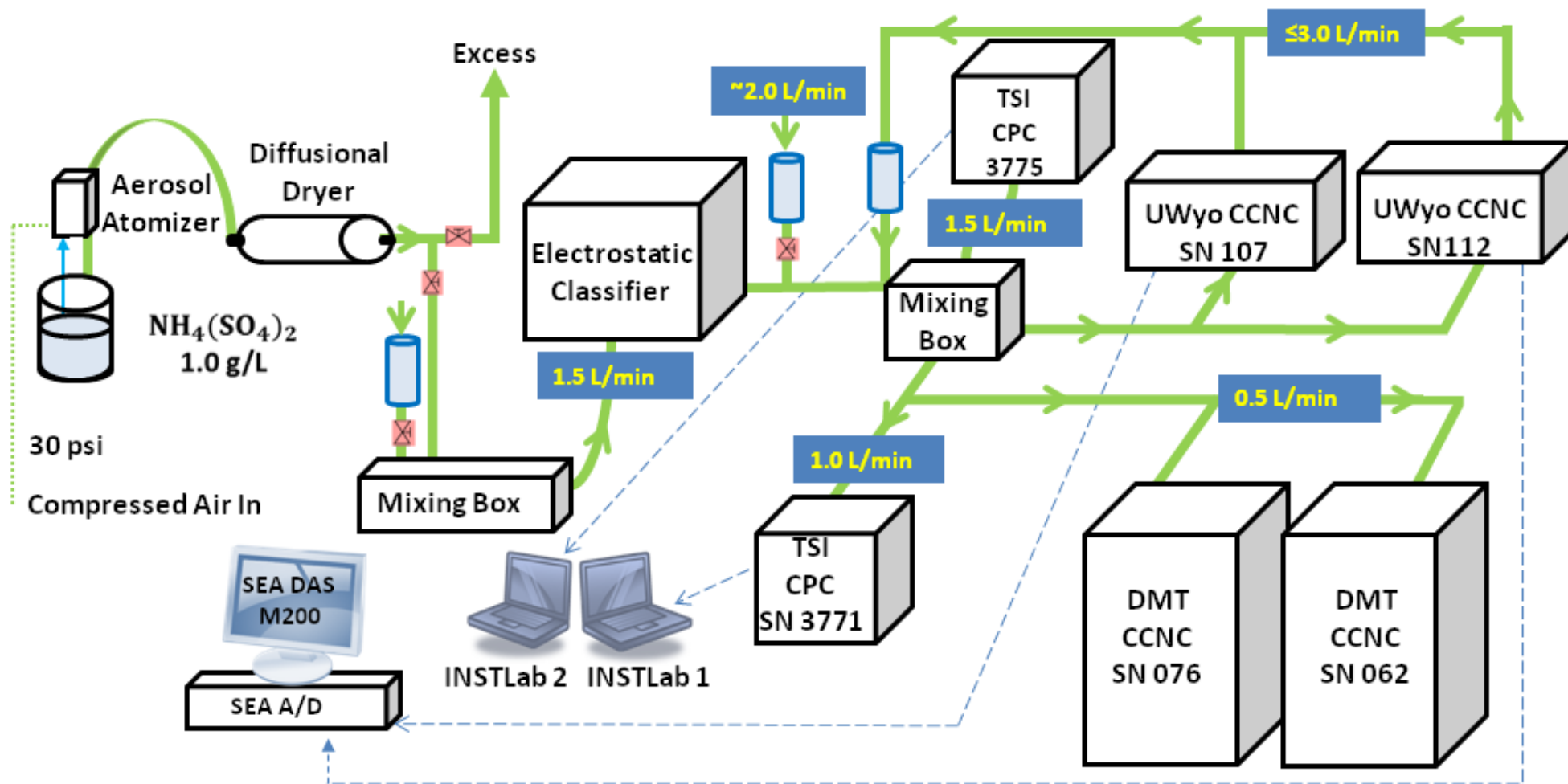
Grow to Form Droplet (Crecer con forma de gotas)

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

Determines the number of particles in air that cloud droplets form on.
(Determina el número de partículas en el aire que se forman en las gotas de las nubes.)

CCN Counter Lab Calibration Setup

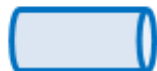
(CCN Contador Configuración Laboratorio de calibración)



Interface



Valve



Filter



Direction of Air Flow



Direction of Water Flow

DMT CCNC - Droplet Measurement Technology Cloud Condensation Nuclei Counter

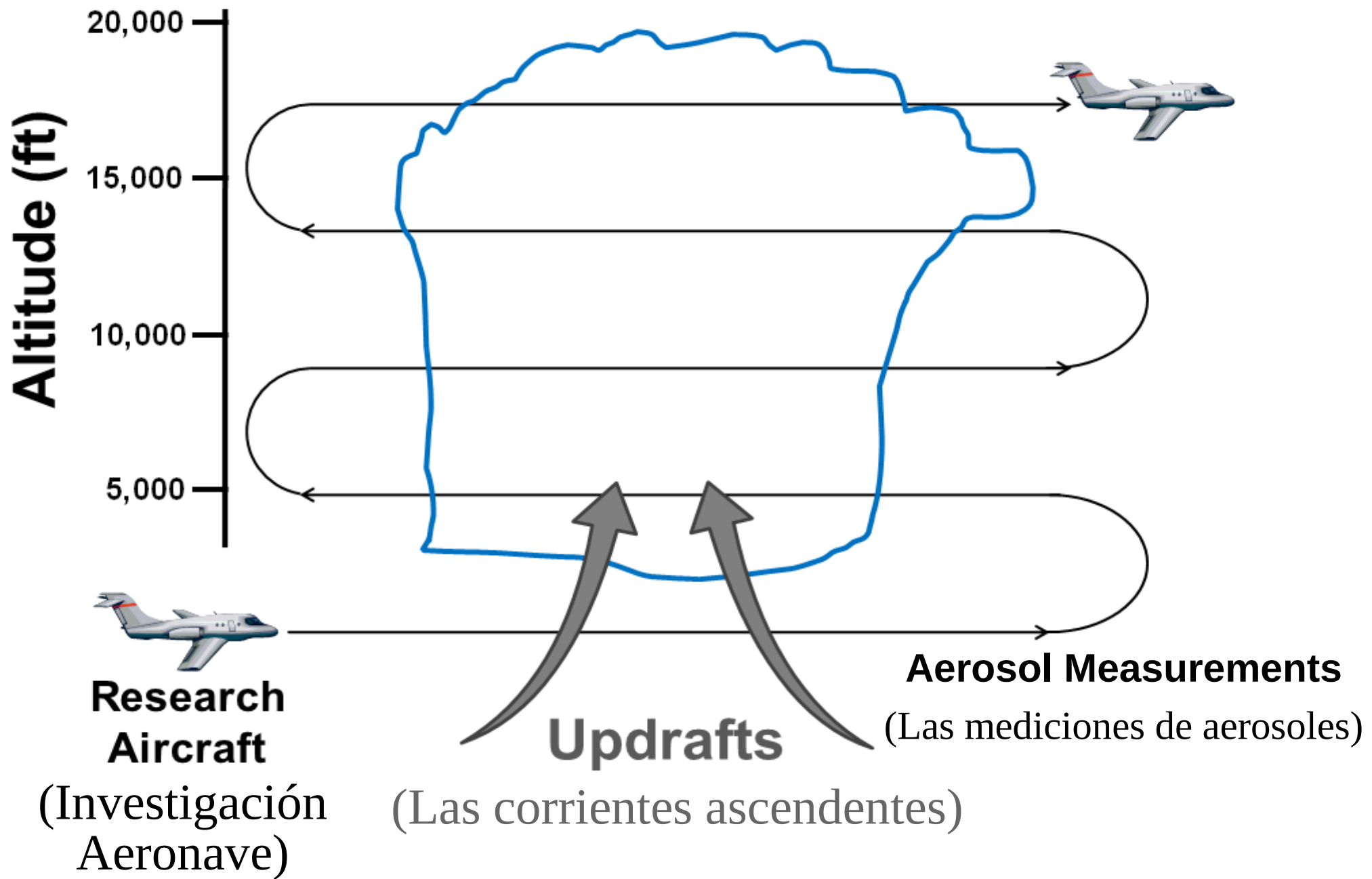
SEA A/D - Science Engineering Associates Analog to Digital Board

SEA DAS - Science Engineering Associates Data Acquisition System

TSI CPC - TSI Inc. Cloud Particle Concentration

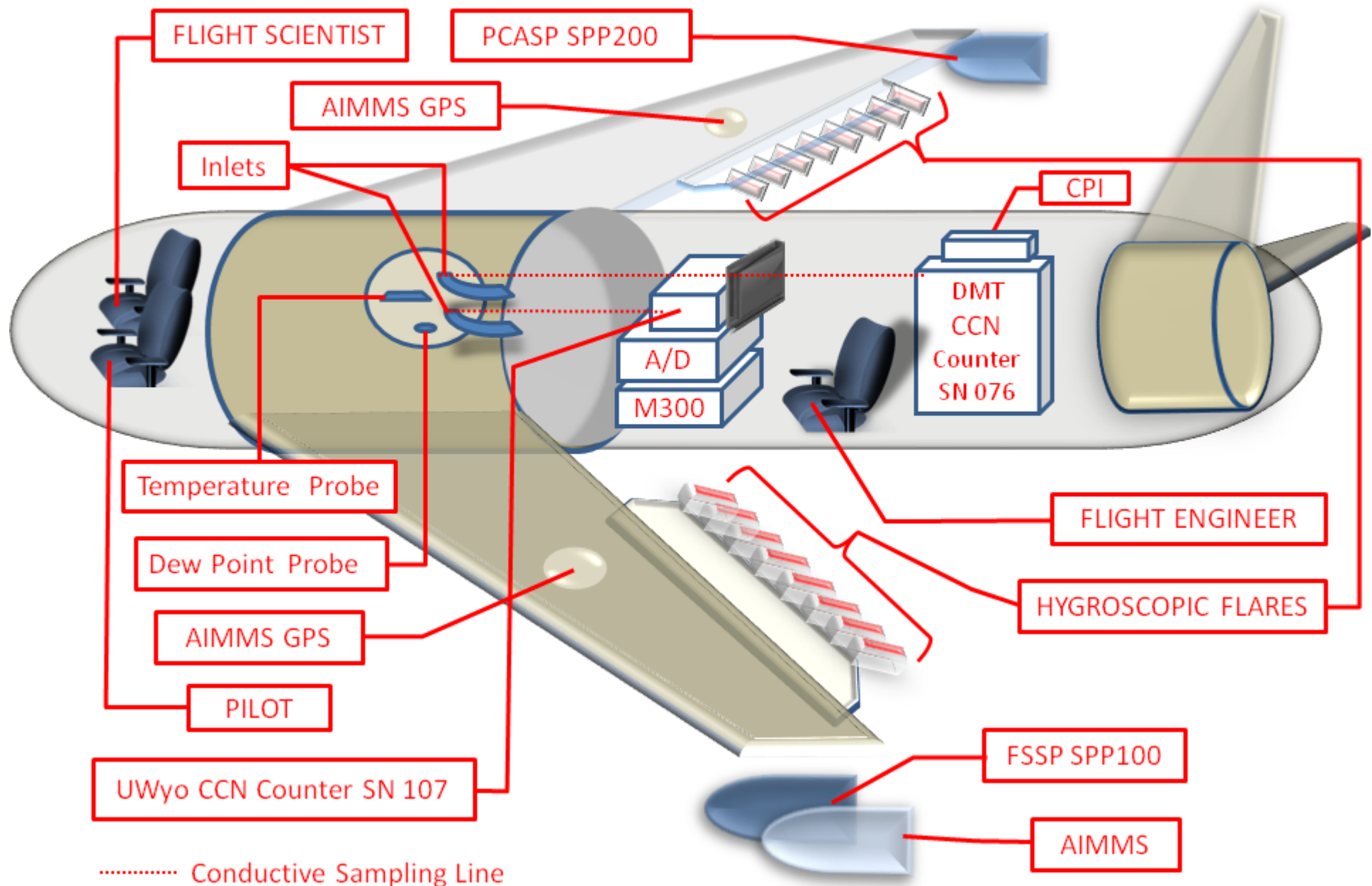
Uwyo CCNC - University of Wyoming Cloud Condensation Nuclei Counter

Surface Based Convective Cloud (Surface basado en la nube convectiva)



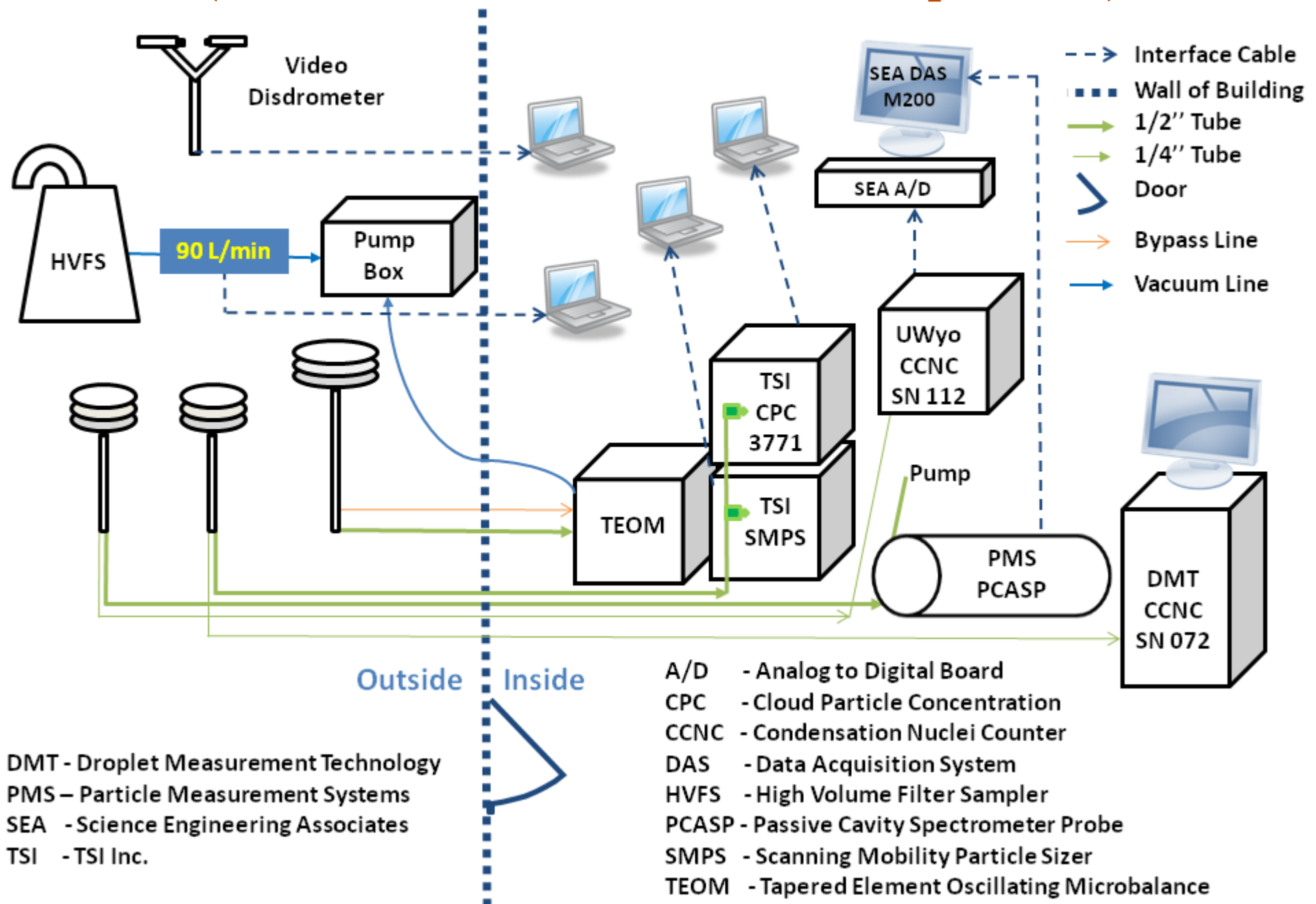
POLCAST4 Aircraft Instrument Configuration

(POLCAST4 configuración del instrumento Aviones)



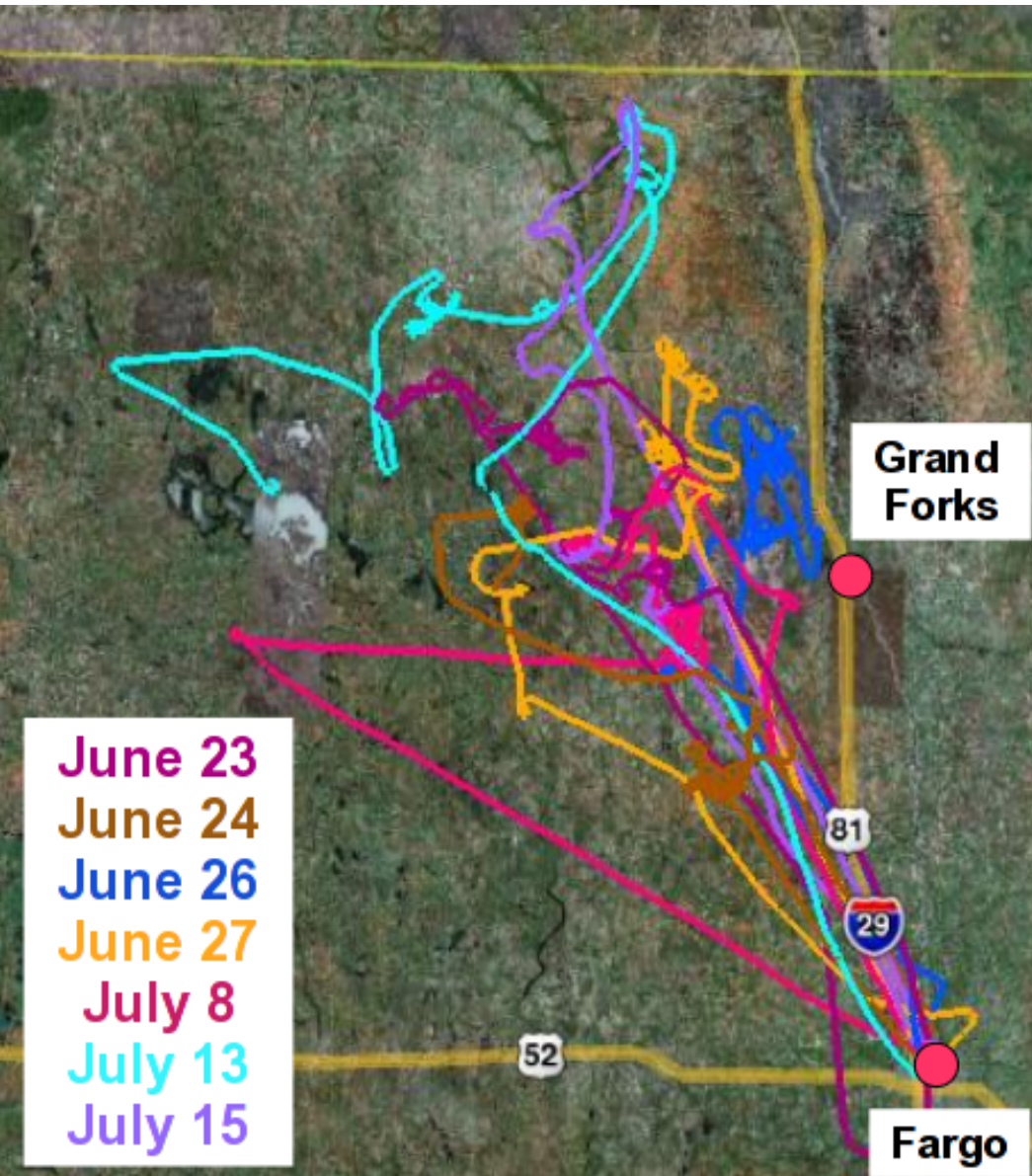
POLCAST4 Surface Measurements

(POLCAST4 mediciones de superficie)



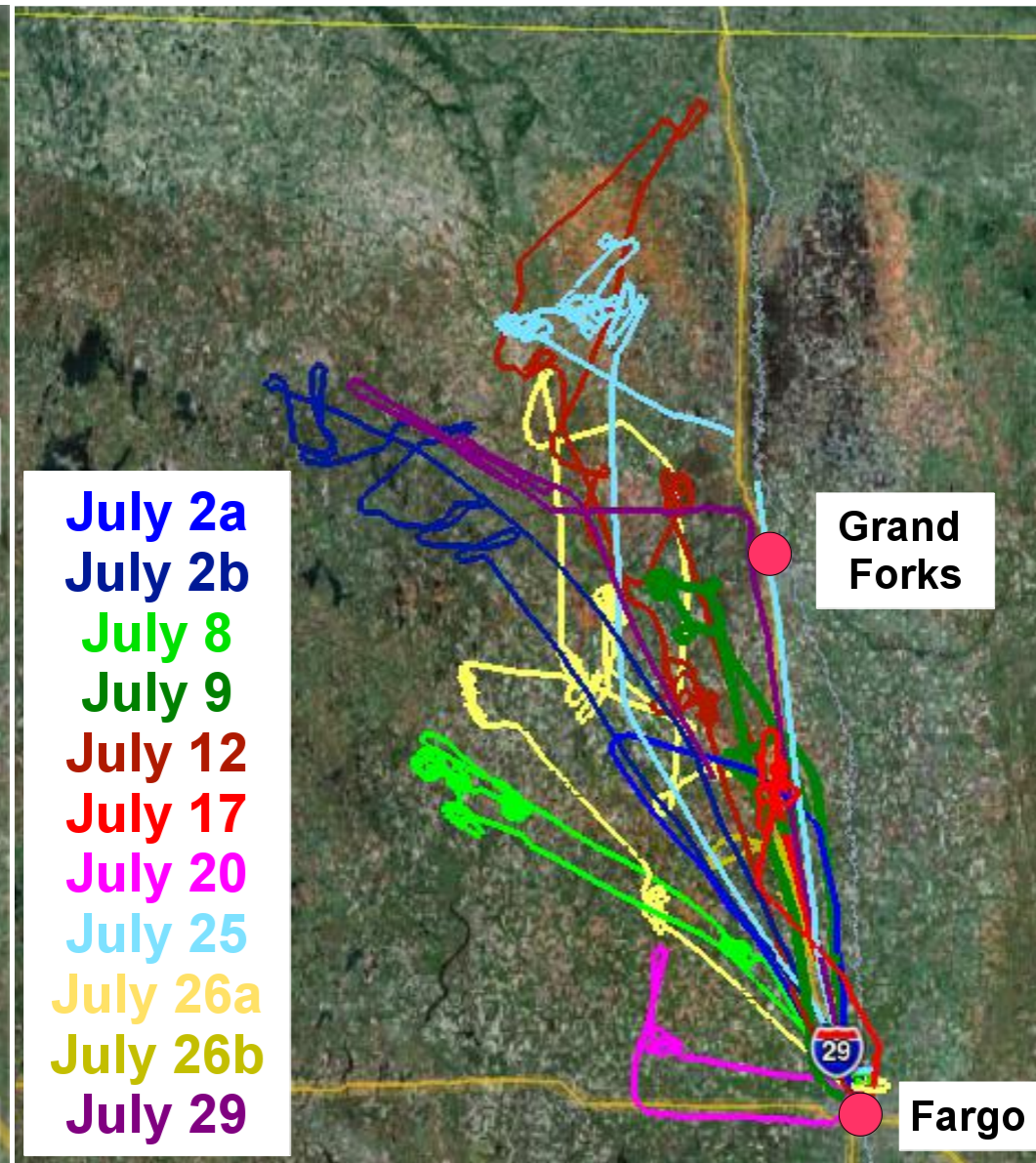
Flight Tracks (Pistas de vuelos)

2010 POLCAST3

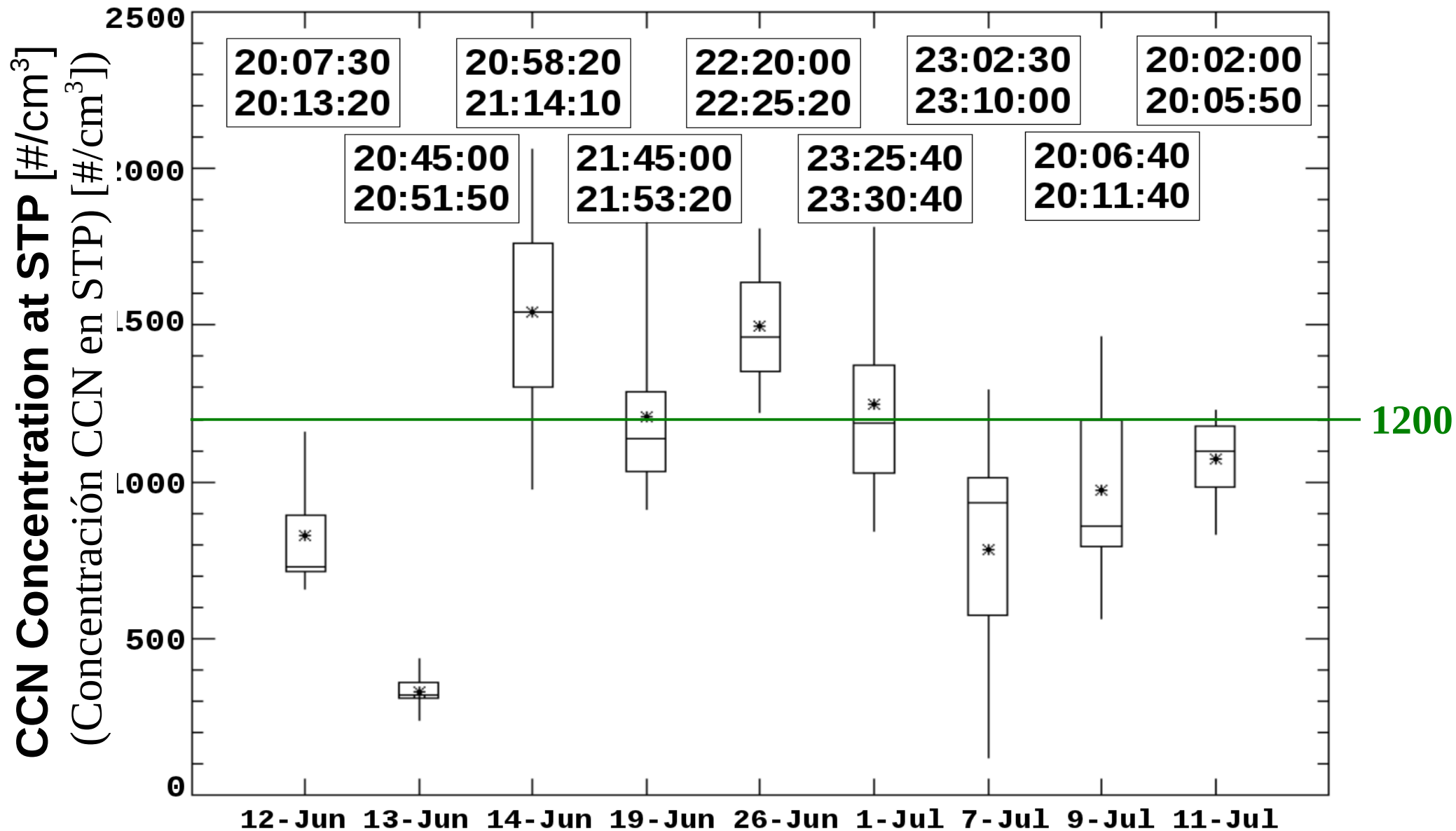


2010 POLCAST3

2012 POLCAST4



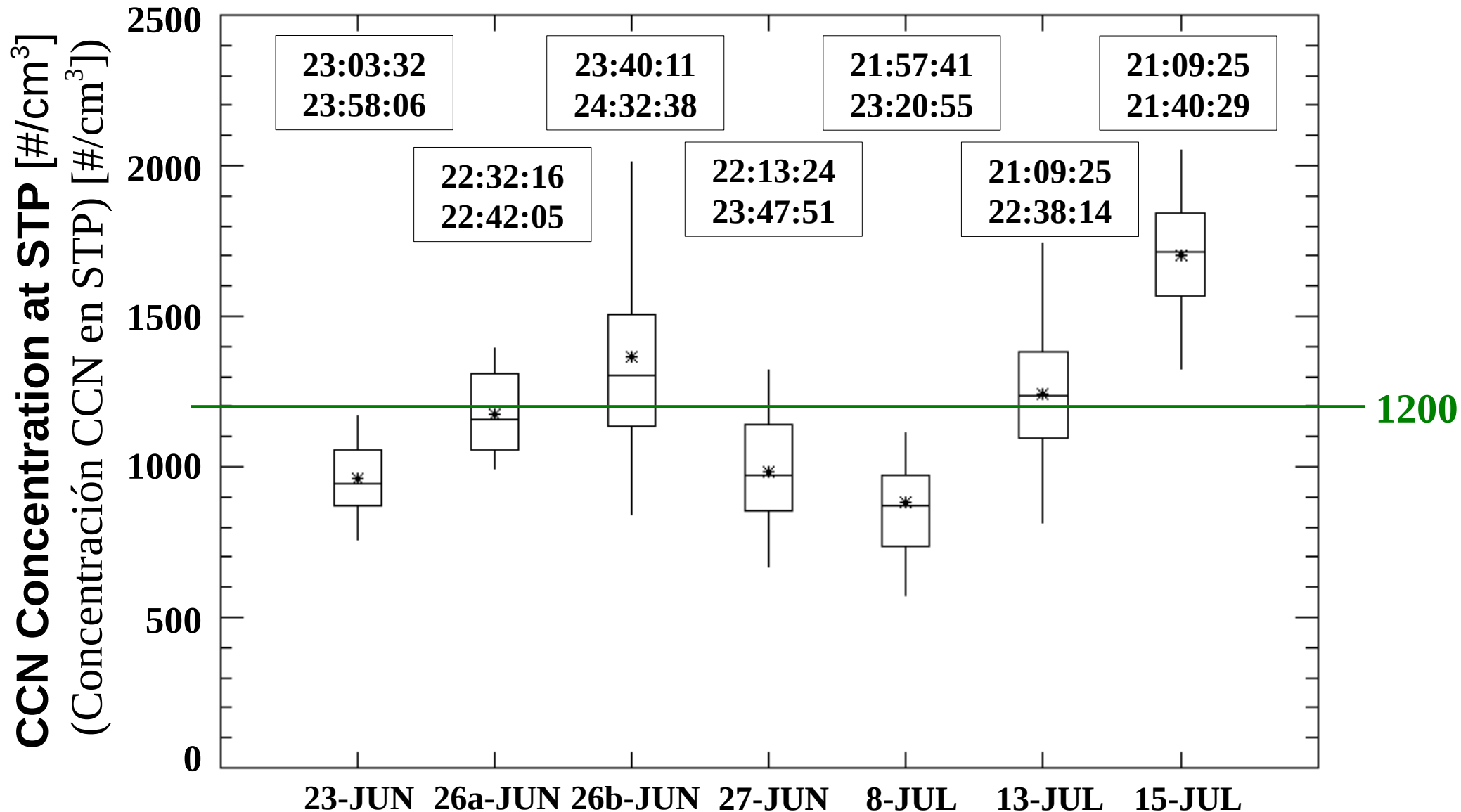
Cloud Base: 2008



Statistical distributions of 30 s 0.6 % ambient supersaturation Cloud Condensation Nuclei (CCN) adjusted to standard temperature and pressure. The solid circle is the mean value, the horizontal line is the 50th percentile, the top of the box is the 75th percentile, the bottom is the 25th percentile, and the top and bottom of the whiskers are the 95th and 5th percentiles, respectively.

(Distribuciones estadísticas de 30 s 0,6% ambiente sobresaturación núcleos de condensación (CCN) ajustados a la temperatura y presión estándar. El círculo sólido es el valor medio, la línea horizontal es el percentil 50, la parte superior de la caja es el percentil 75, la parte inferior es el percentil 25, y la parte superior e inferior de los bigotes son los percentiles 95 y 5, respectivamente.)

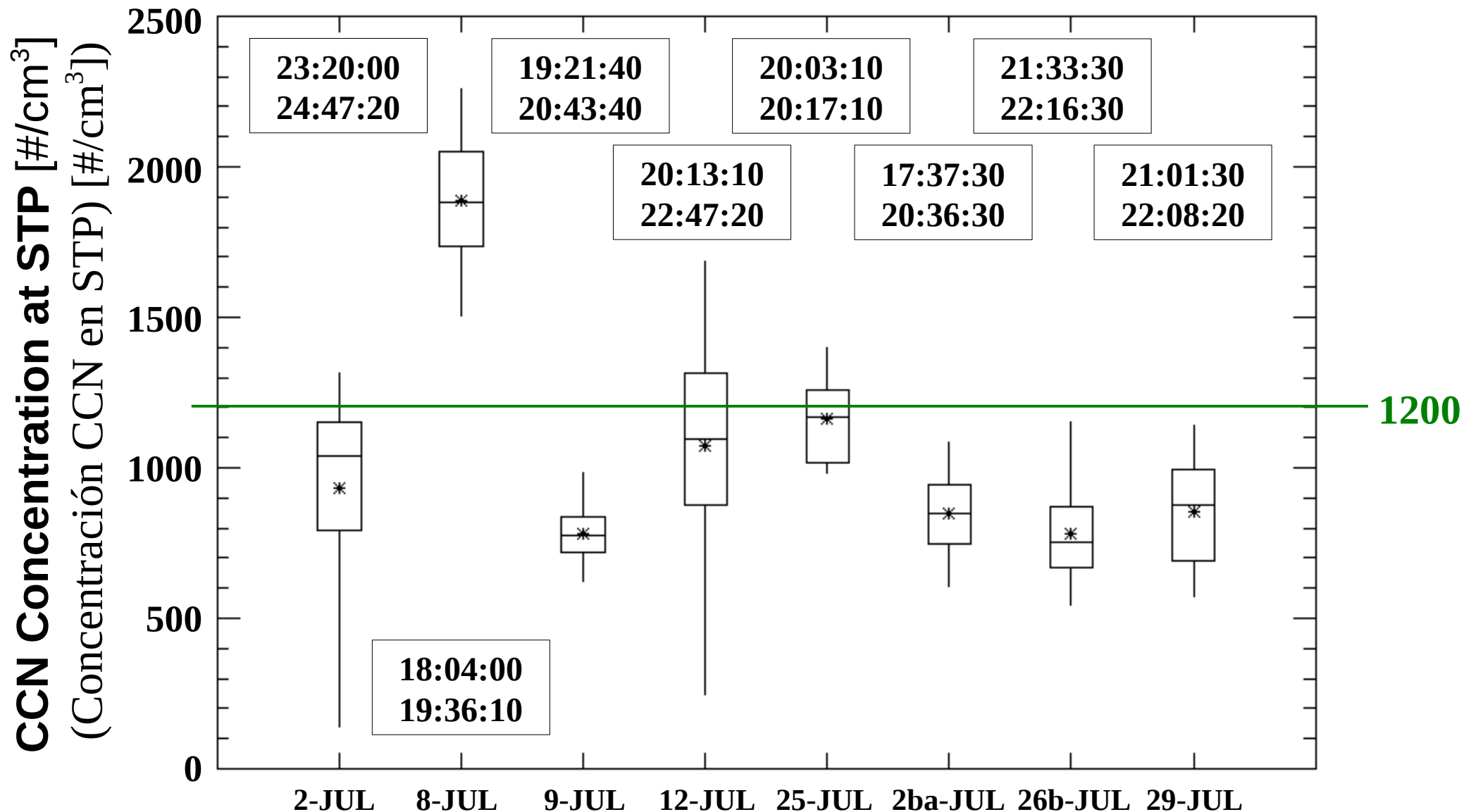
Cloud Base: 2010



Statistical distributions of 30 s 0.6 % ambient supersaturation Cloud Condensation Nuclei (CCN) adjusted to standard temperature and pressure. The solid circle is the mean value, the horizontal line is the 50th percentile, the top of the box is the 75th percentile, the bottom is the 25th percentile, and the top and bottom of the whiskers are the 95th and 5th percentiles, respectively.

(Distribuciones estadísticas de 30 s 0,6% ambient sobresaturación núcleos de condensación (CCN) ajustados a la temperatura y presión estándar. El círculo sólido es el valor medio, la línea horizontal es el percentil 50, la parte superior de la caja es el percentil 75, la parte inferior es el percentil 25, y la parte superior e inferior de los bigotes son los percentiles 95 y 5, respectivamente.)

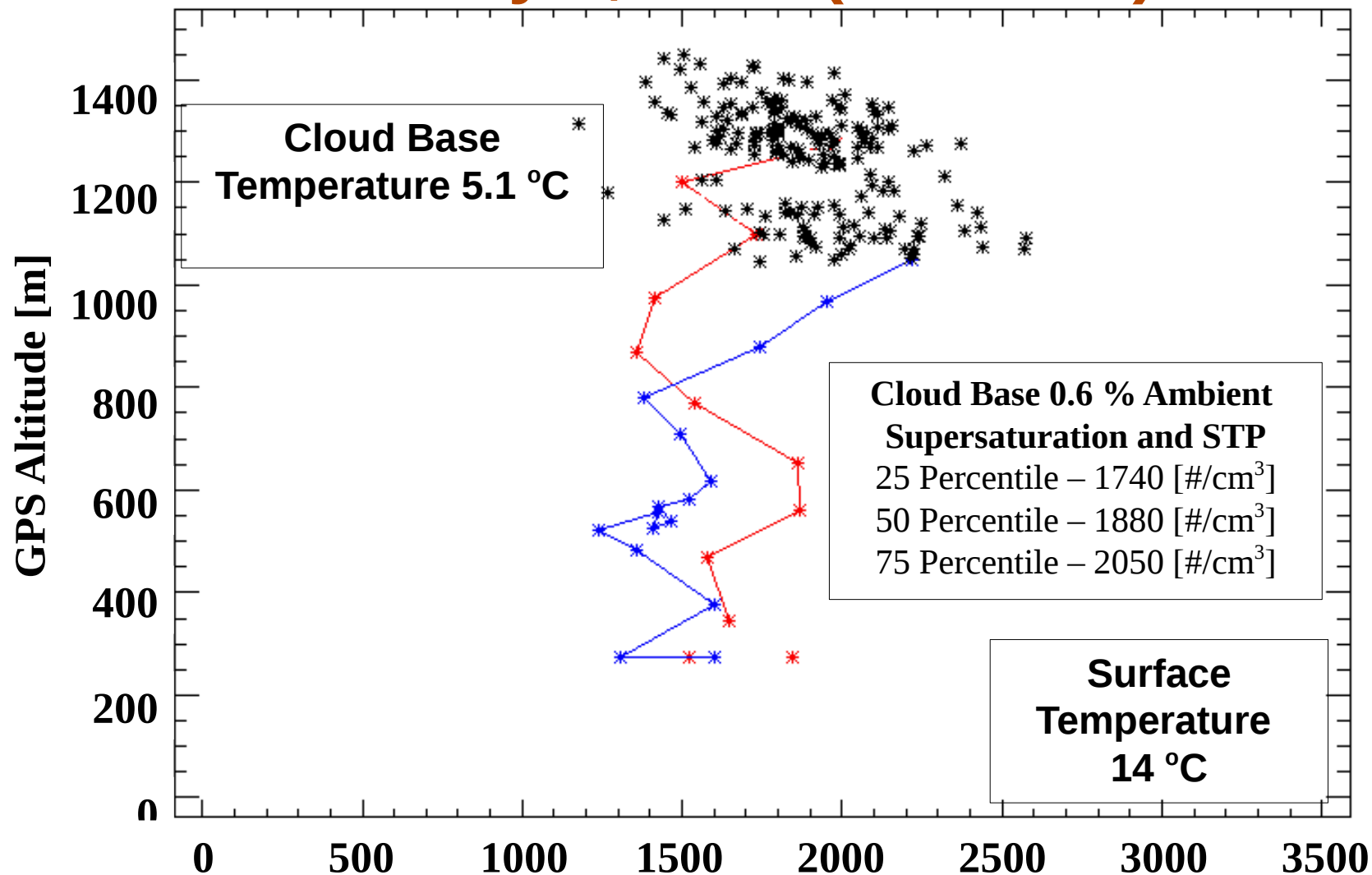
Cloud Base: 2012



Statistical distributions of 30 s 0.6 % ambient supersaturation Cloud Condensation Nuclei (CCN) adjusted to standard temperature and pressure. The solid circle is the mean value, the horizontal line is the 50th percentile, the top of the box is the 75th percentile, the bottom is the 25th percentile, and the top and bottom of the whiskers are the 95th and 5th percentiles, respectively.

(Distribuciones estadísticas de 30 s 0,6% ambiente sobresaturación núcleos de condensación (CCN) ajustados a la temperatura y presión estándar. El círculo sólido es el valor medio, la línea horizontal es el percentil 50, la parte superior de la caja es el percentil 75, la parte inferior es el percentil 25, y la parte superior e inferior de los bigotes son los percentiles 95 y 5, respectivamente.)

July 8, 2012 (190 DOY)

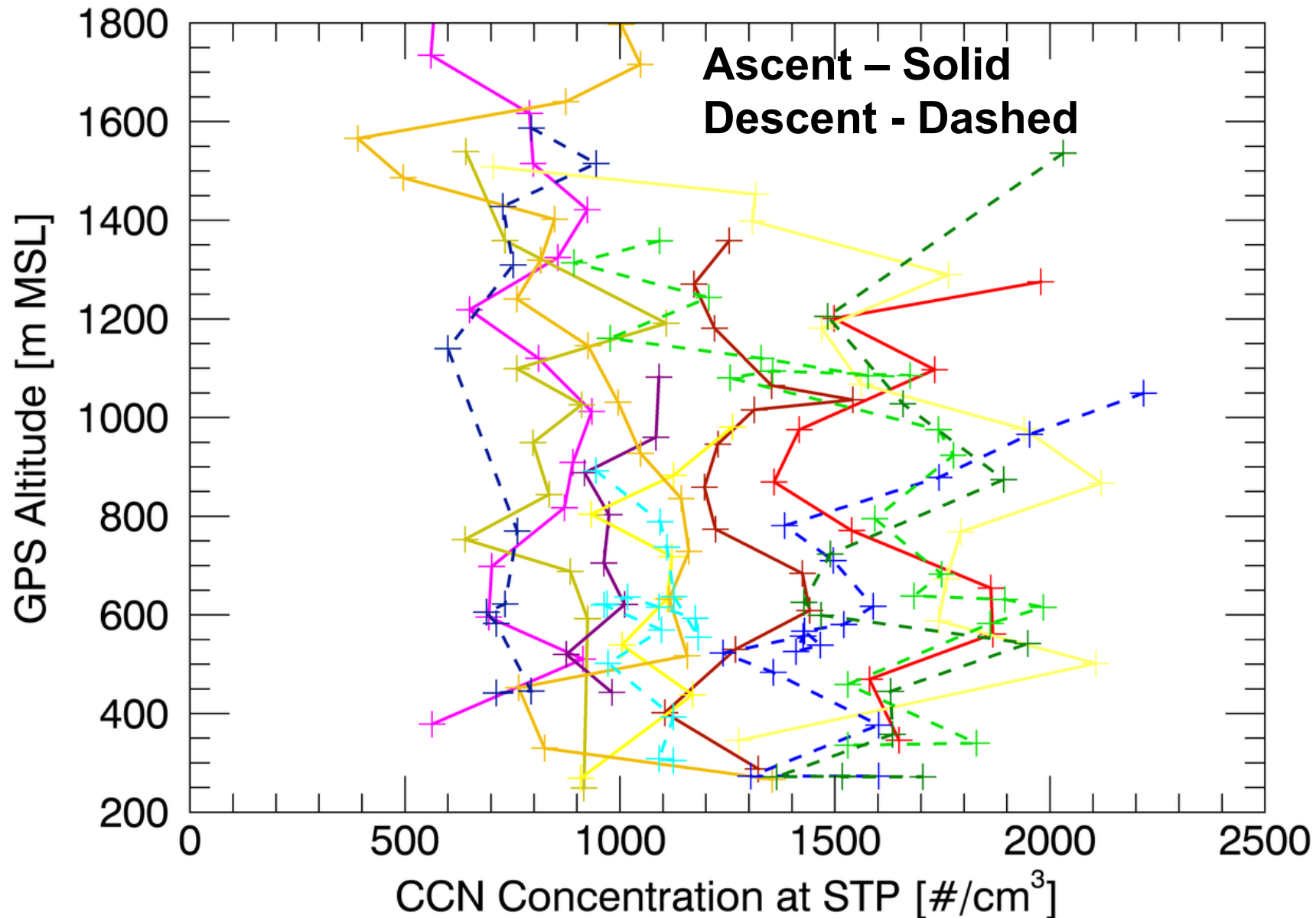


CCN Concentration at STP (Concentración CCN en STP) #/cm^3

University of Wyoming cloud condensation nuclei (CCN) counter measurements (0.6 % ambient supersaturation) adjusted to standard pressure and temperature (STP) on aircraft ascent (red, 17:40:00-17:45:00 UTC), during cloud base sampling (black stars, 18:04:00-19:36:10) and during descent (blue, 19:36:20-19:56:40).

(Universidad de Wyoming núcleos de condensación (CCN) mediciones de venta libre (0,6% ambiente sobresaturación) ajustados a presión y temperatura estándar (STP) en la ascensión avión (rojo, 17:40:00-17:45:00 UTC), durante la toma de muestras de base cloud (estrellas negras, 18:04:00-19:36:10) y durante el descenso (azul, 19:36:20-19:56:40).)

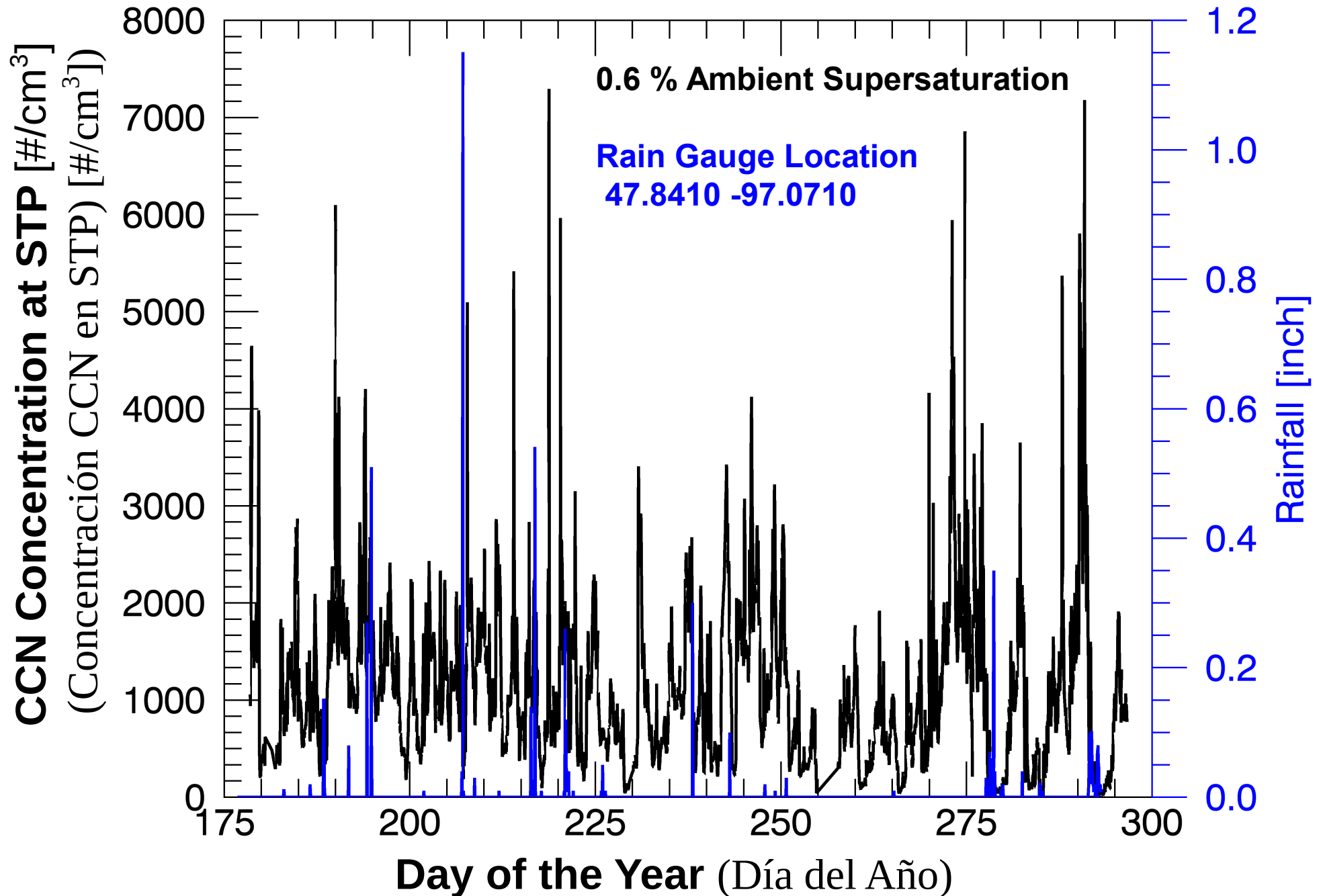
POLCAST-2012



For individual profiles see, Bart, N. and D. J. Delene, North Dakota Aircraft and Surface CCN Measurements during the Summers of 2010 and 2012, Poster presented at the 93rd Annual Conference of the American Meteorological Society, January 6, 2013 in Austin, Texas.

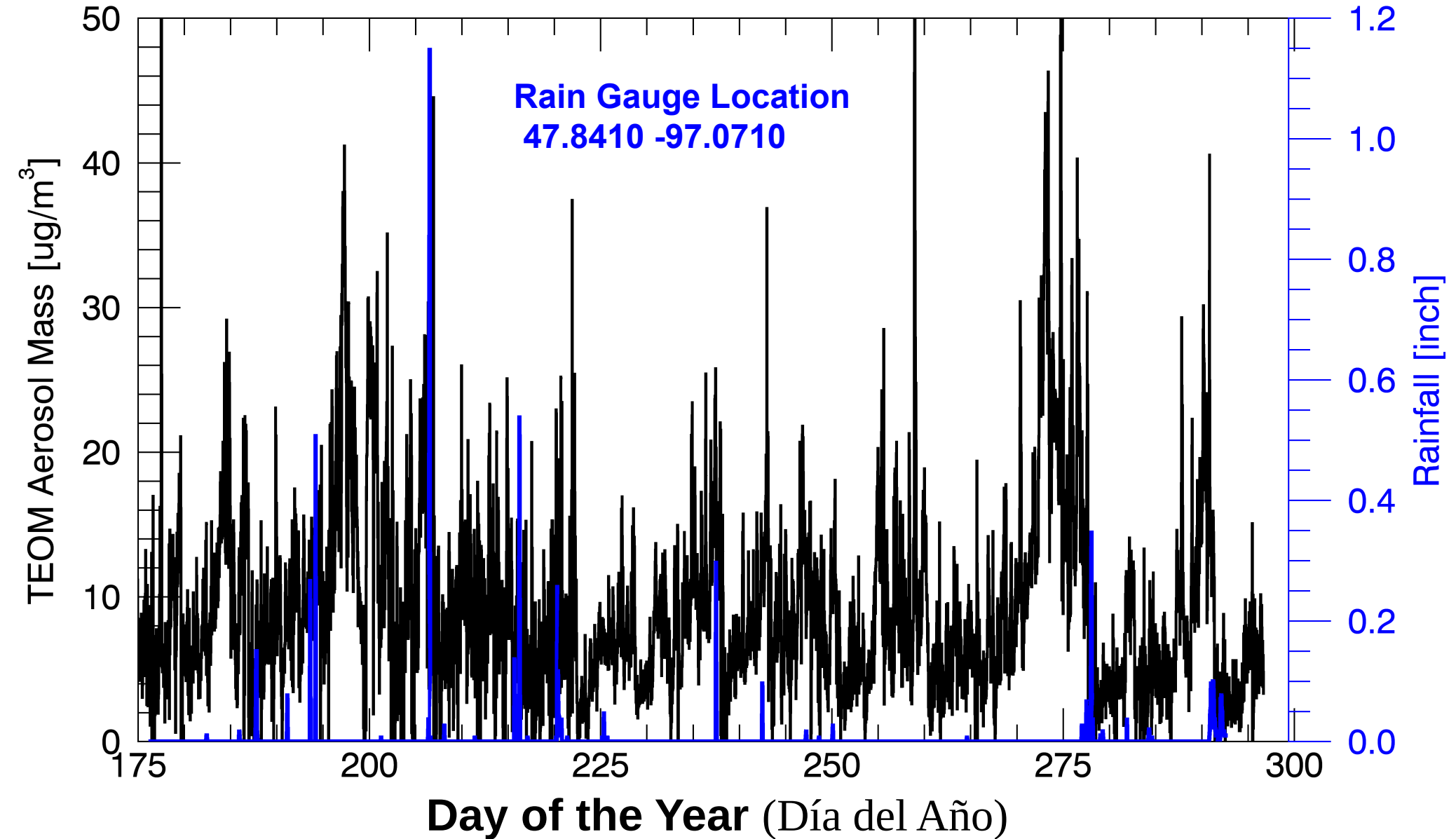
Surface Measurements (Las mediciones de superficie)

2012 Grand Forks, ND 30 min CCN, 1 hr Rain Fall



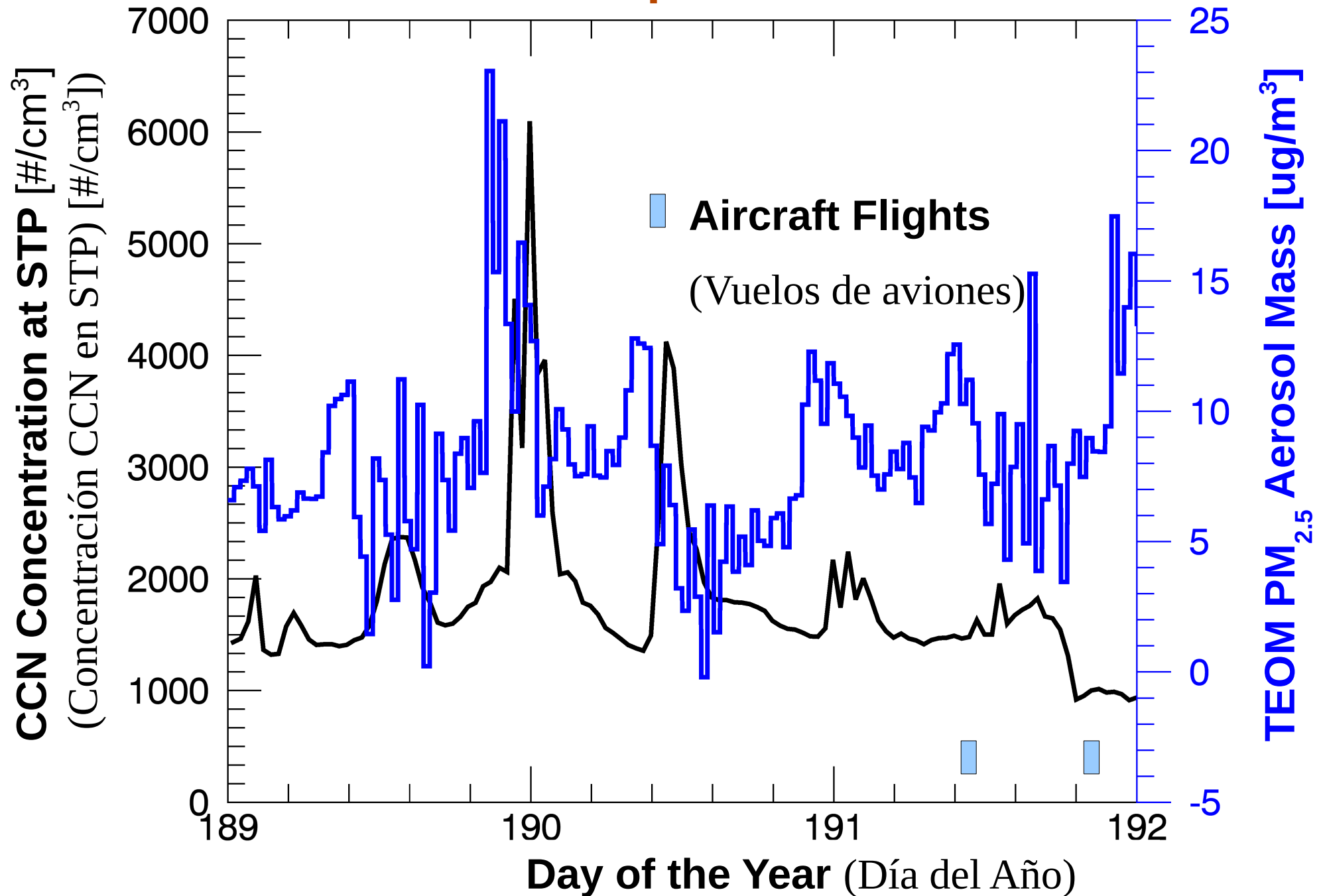
Surface Measurements (Las mediciones de superficie)

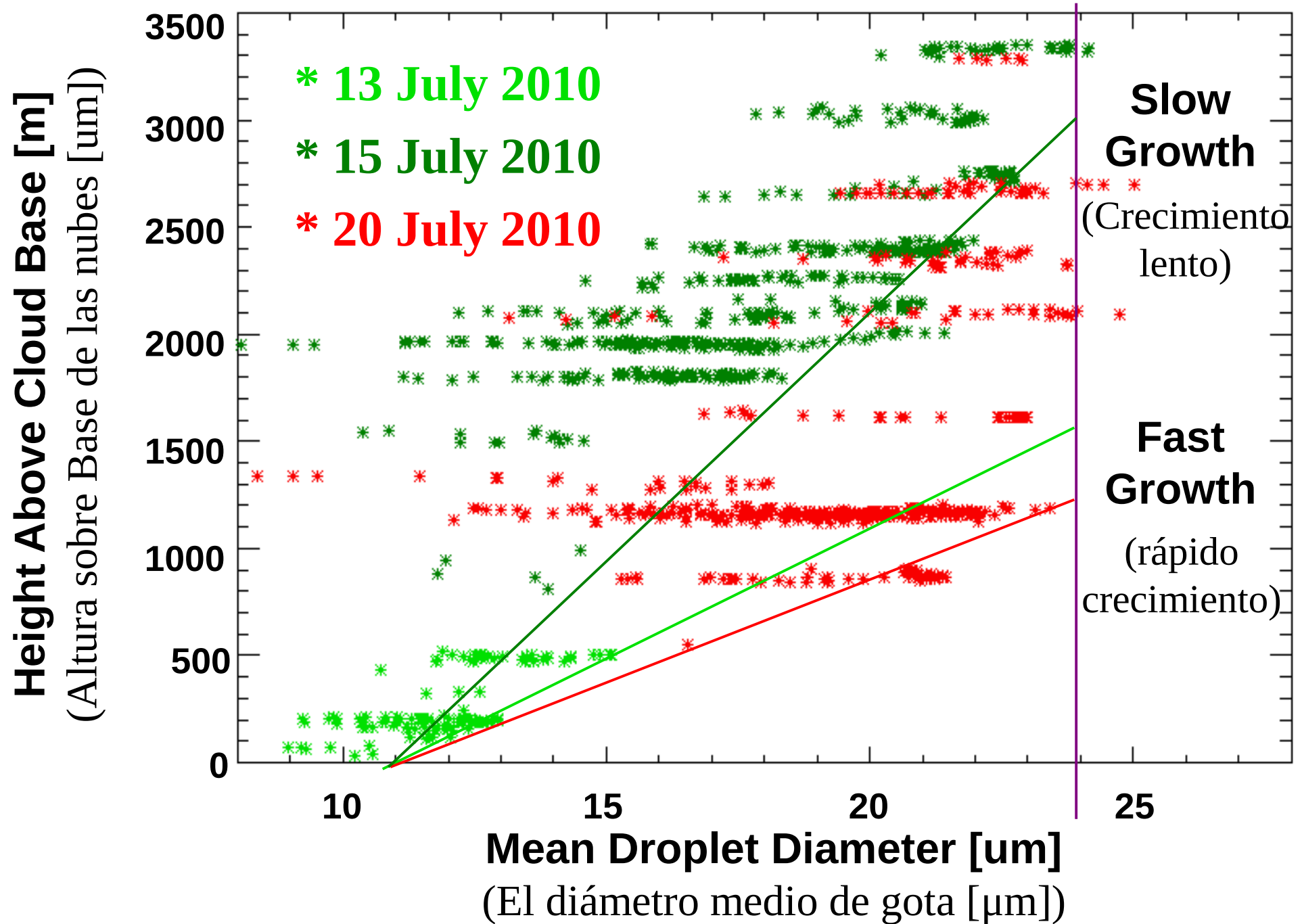
2012 Grand Forks, ND 30 min TOEM PM2.5, 1 hr Rain Fall



Surface Measurements (Las mediciones de superficie)

10 min Samples in 2012





The Cloud Droplet Probe (CDP) mean droplet diameter versus the height above cloud base for aircraft flights during POLCAST3 near Grand Forks, North Dakota. Only measurements with CDP concentrations about 140 cm^{-3} are presented.

(La nube de gotitas de sonda (CDP) en comparación con el diámetro medio de las gotitas de la altura sobre la base de nubes de vuelos de aviones durante POLCAST3 cerca de Grand Forks, Dakota del Norte. Sólo se presentan las mediciones con concentraciones CDP unos 140 cm^{-3} .)

Conclusions (Conclusiones)

- **Day-to-day variations in CCN concentrations are larger than regional scale changes.**

(Variaciones día a día en las concentraciones de CCN son más grandes que los cambios a escala regional.)

- **On Cloud seeding days, the below cloud base atmosphere is well-mixed so surface CCN measurements can be used to determine cloud base measurements.**

(En los días de la siembra de nubes, la atmósfera por debajo de la base de nubes es bien mezclado para mediciones CCN superficie pueden ser usados para determinar las mediciones de base de nubes.)

Future Work (Trabajo Futuro)

- **Investigate how changes in CCN concentration affect model predictions of precipitation.**
(investigar cómo los cambios en la concentración de CCN afectan predicciones del modelo de la precipitación.)
- **Relate cloud base CCN concentration to satellite derived droplet effective radius.**
(Relacionar nube concentración CCN base derivada gota radio efectivo satélite.)
- **Summer 2014 North Dakota Field project.**
(Proyecto de Verano 2014 de Dakota del Norte del campo.)

Questions or Comments (*Preguntas o comentarios*)

