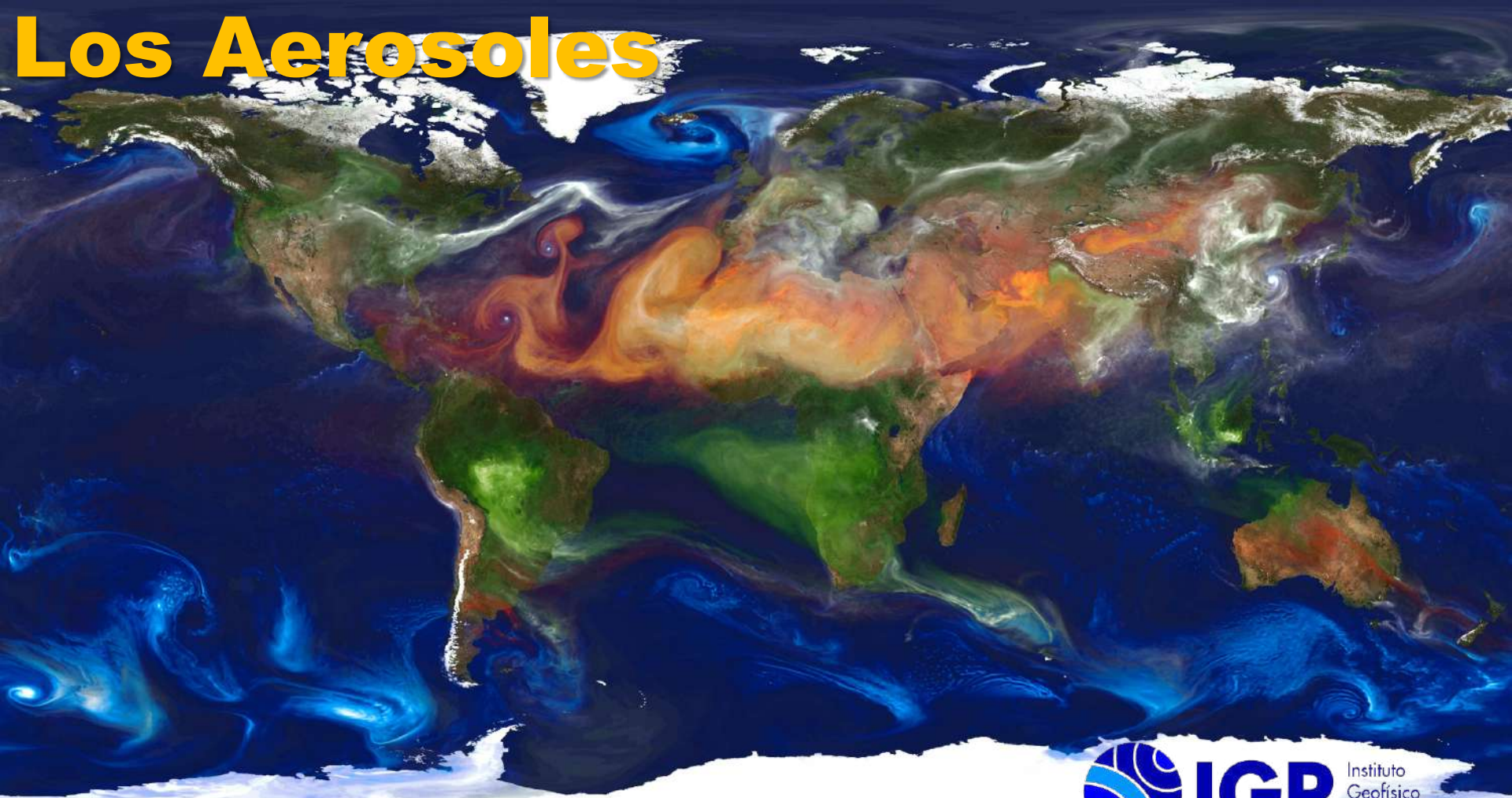


Los Aerosoles

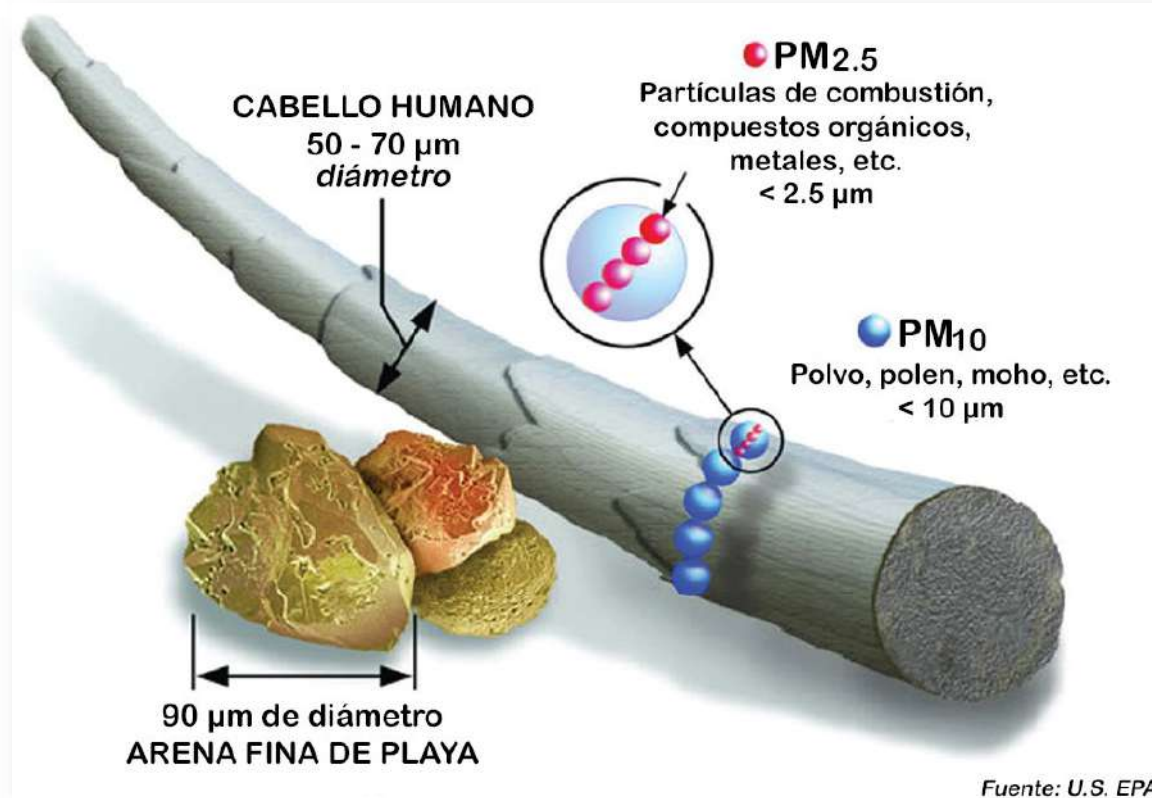


IGP

Instituto
Geofísico
del Perú

Definición de “AEROSOL”

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), define los aerosoles como: “partículas en estado **sólido** o **líquido** suspendidas en el aire, con un tamaño típico entre 0.01 y 10 μm , que permanecen en la atmósfera por al menos unas horas”.



Características que definen a los Aerosoles

Forma o morfología → esféricas, no-esféricas, esferoides

Composición → mezcla interna y externa (índice de refracción)

Tamaño → función de distribución de tamaños (granulometría)

TAMAÑOS (μm)	0.0001	0.001	0.01	0.1	1	10
		1Å	10Å	100Å	1000Å	10000Å
Ondas Electromagnéticas		← Rayos X →		Ultravioleta	Visible Radiación Solar	Infrarojo
Partículas y Gases		← Gas → Moléculas		← Humo de Tabaco → Cenizas Núcleos de Combustión	← Bacterias →	
			Virus			

Formas y tamaños típicos

$< 0.01 \mu\text{m}$



Clústers de moléculas

$0.01 - 10 \mu\text{m}$



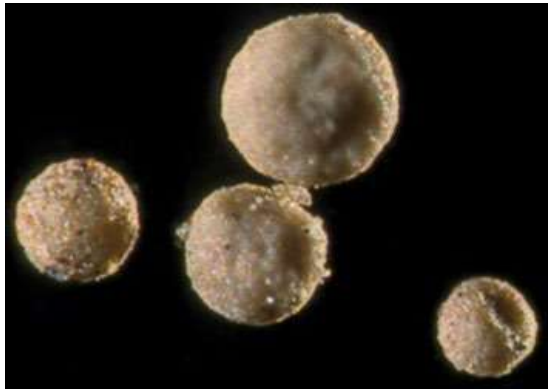
Aerosoles

$> 10 \mu\text{m}$

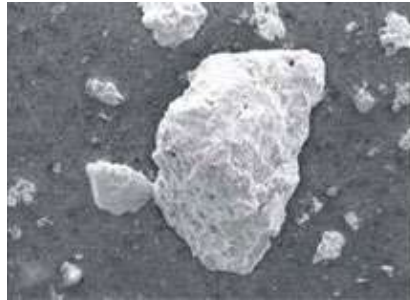


Partículas precipitables

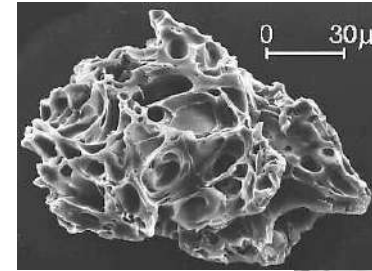
Iberulitos



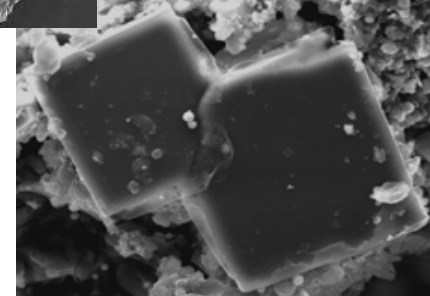
Polvo Interplanetario



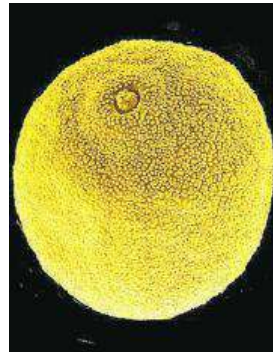
Ceniza



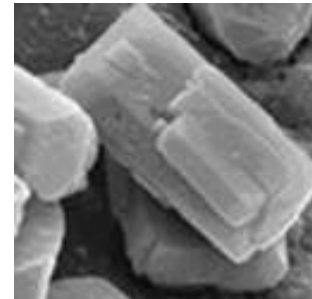
Sal



Pólen



Yeso



Arena del Sahara



Clasificación de los Aerosoles

La clasificación de los aerosoles es un tema bien complejo debido a la variedad de:

- Fuentes
- Tamaños
- Composición química
- Propiedades Ópticas
- Regiones de la atmósfera
- Efectos (directos e indirectos)
- Tiempos de vida
- Distribución Espacio-Temporal, etc.

Clasificación de los Aerosoles: Fuentes

Volcánicos



Volcán Calbuco, Chile 24-4-2015

Desérticos



Marinos



Clasificación de los Aerosoles: Origen

Antrópico

Natural

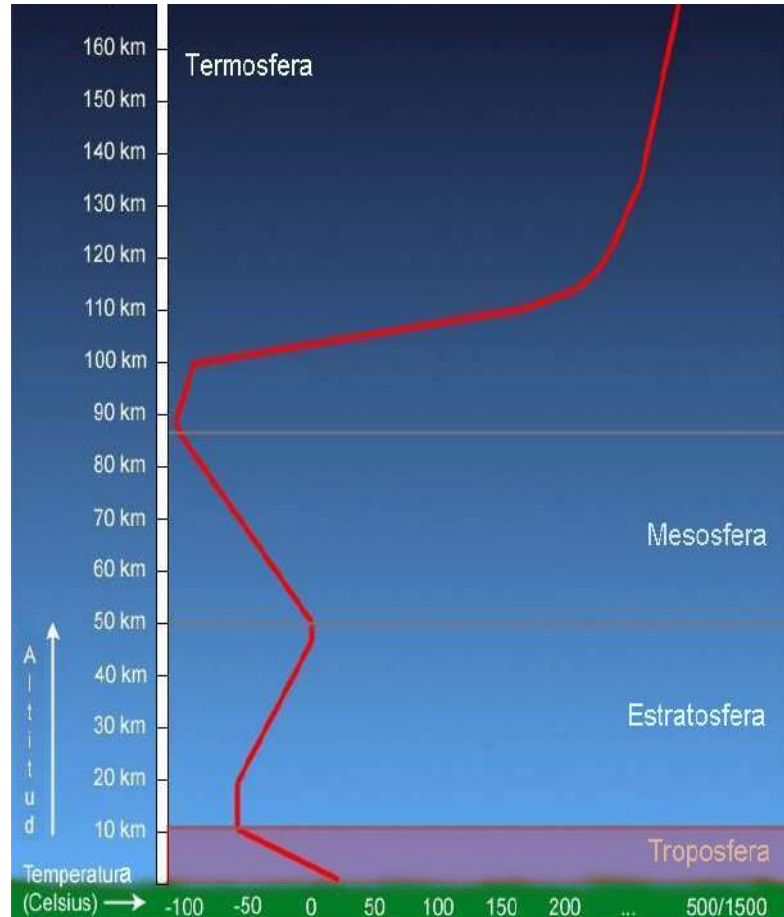


Clasificación de los Aerosoles: Capa de la Atmósfera

Aerosoles Troposféricos

Varían significativamente en cantidad y composición por regiones, con una escala espacial en la horizontal que va desde 1 km hasta unos pocos cientos de kilómetros.

Estos aerosoles tienen por lo general tiempos de vida muy cortos (desde unos minutos hasta semanas), debido fundamentalmente, a los procesos físico – químicos y dinámicos que tienen lugar en esta región de la atmósfera y a la gran variedad de tamaños de partículas y composición química de los mismos.



Clasificación de los Aerosoles: Capa de la Atmósfera

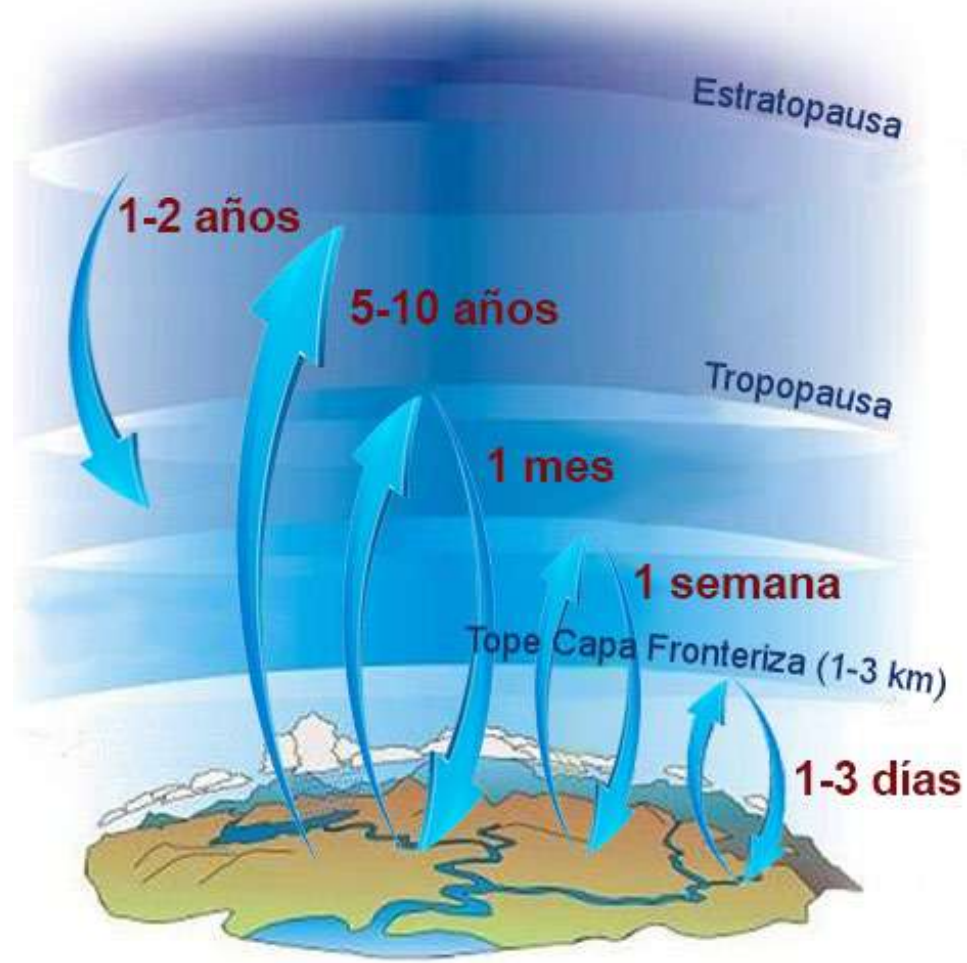
Aerosoles Troposféricos

En la estratósfera predominan fundamentalmente procesos dinámicos horizontales por lo que los tiempos de vida de los aerosoles presentes en esta región de la atmósfera son superiores a los de la tropósfera, llegando a alcanzar hasta 2 años, ejemplo los aerosoles generados por el volcán Pinatubo (15-6-1991, Isla Luzón, Filipinas).

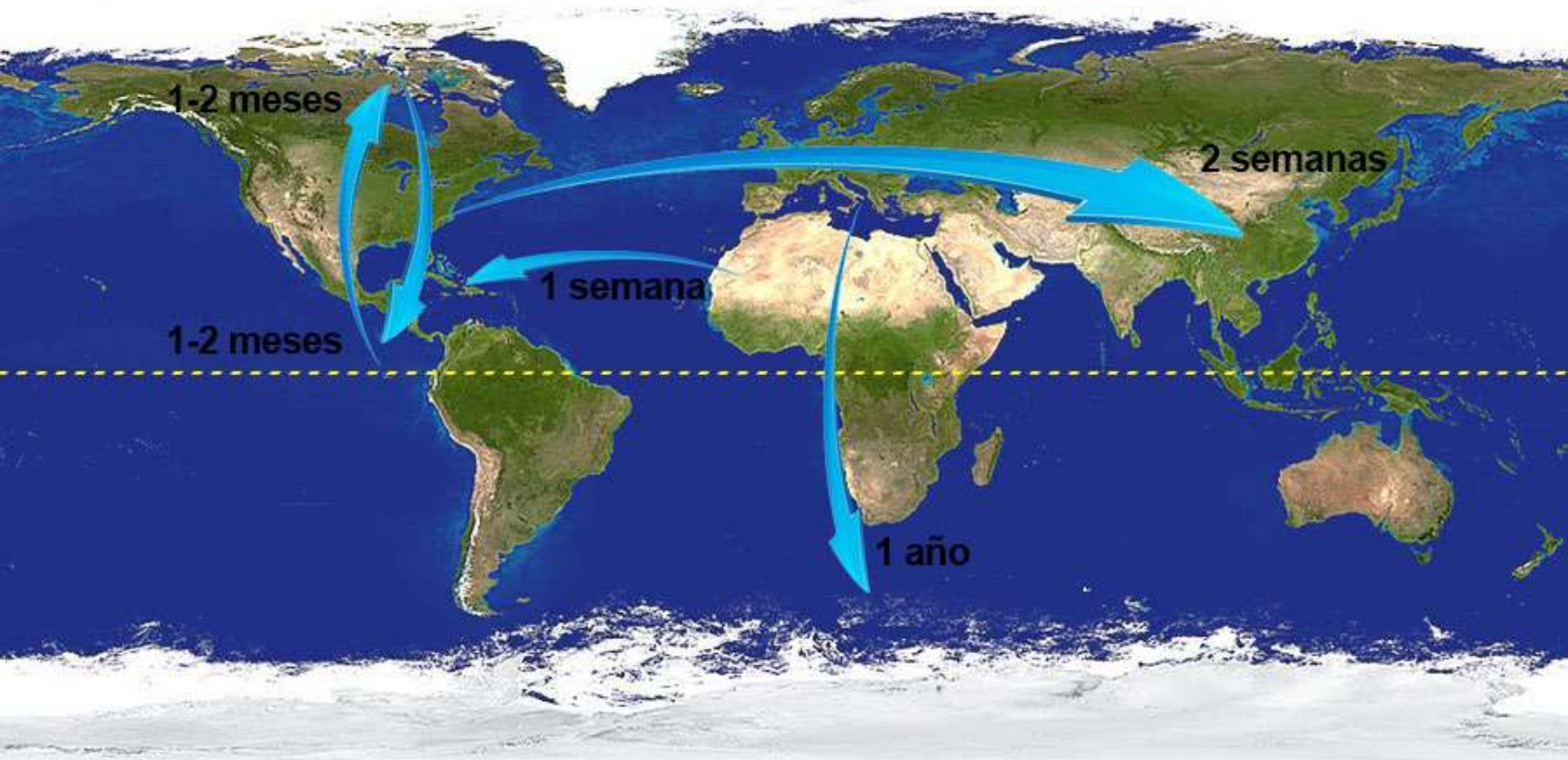
Debido a los largos períodos de residencia, estos aerosoles son mucho más homogéneos tanto química como espacialmente y su influencia sobre el clima es mucho más notable.



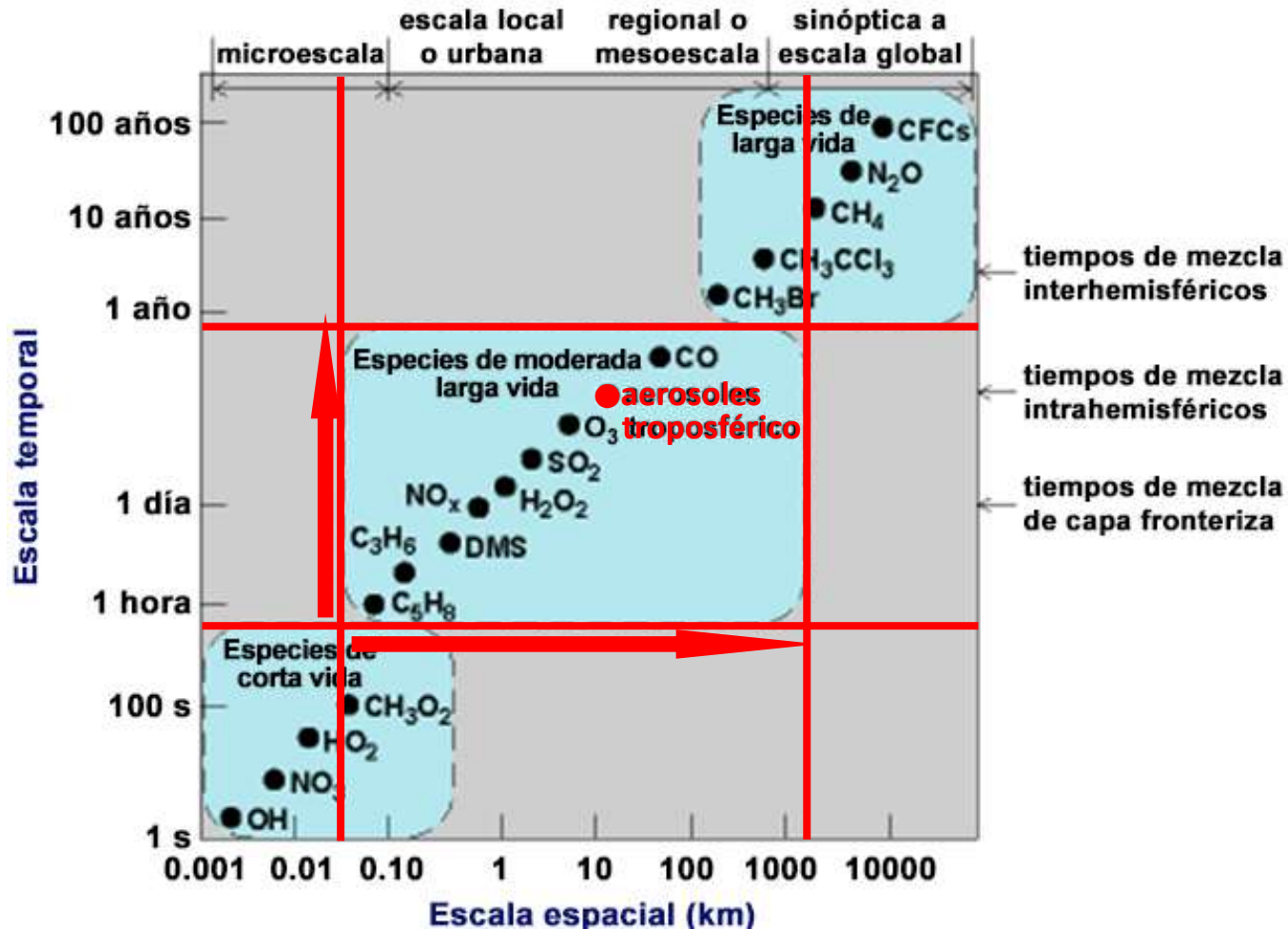
Tiempos de mezcla atmosférica (vertical)



Tiempos de mezcla atmosférica (horizontal)



Tiempos de residencia

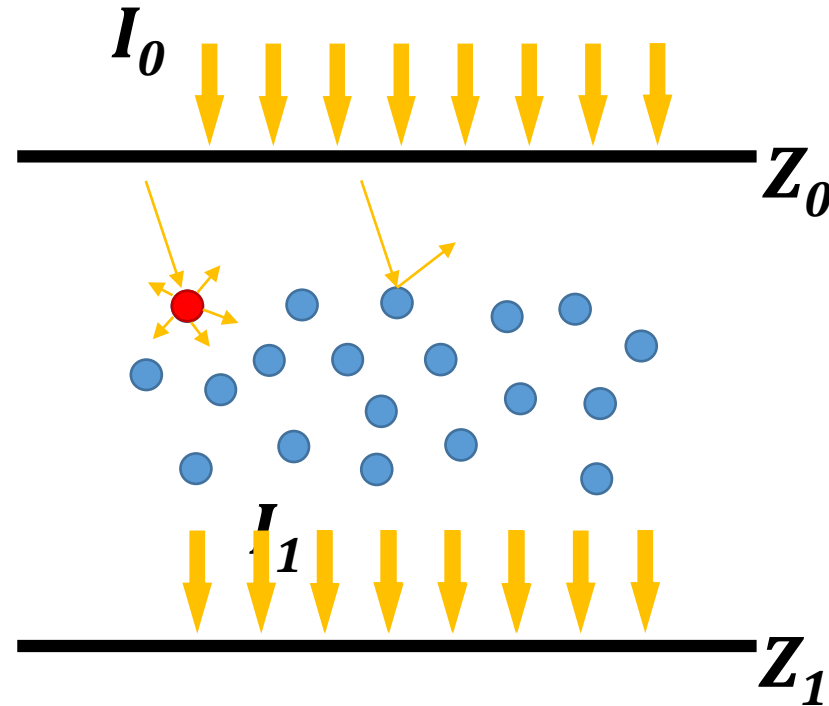


¿Qué es el Espesor Óptico por Aerosoles (AOD)?



Espesor Óptico por Aerosoles

Es una magnitud adimensional referida a las propiedades que poseen las partículas de aerosol para **dispersar y absorber** la radiación solar, de una cierta longitud de onda, al atravesar un medio material, en este caso la columna vertical de la atmósfera.



Espesor Óptico por Aerosoles

Ley de Lambert-Beer-Bouguer:

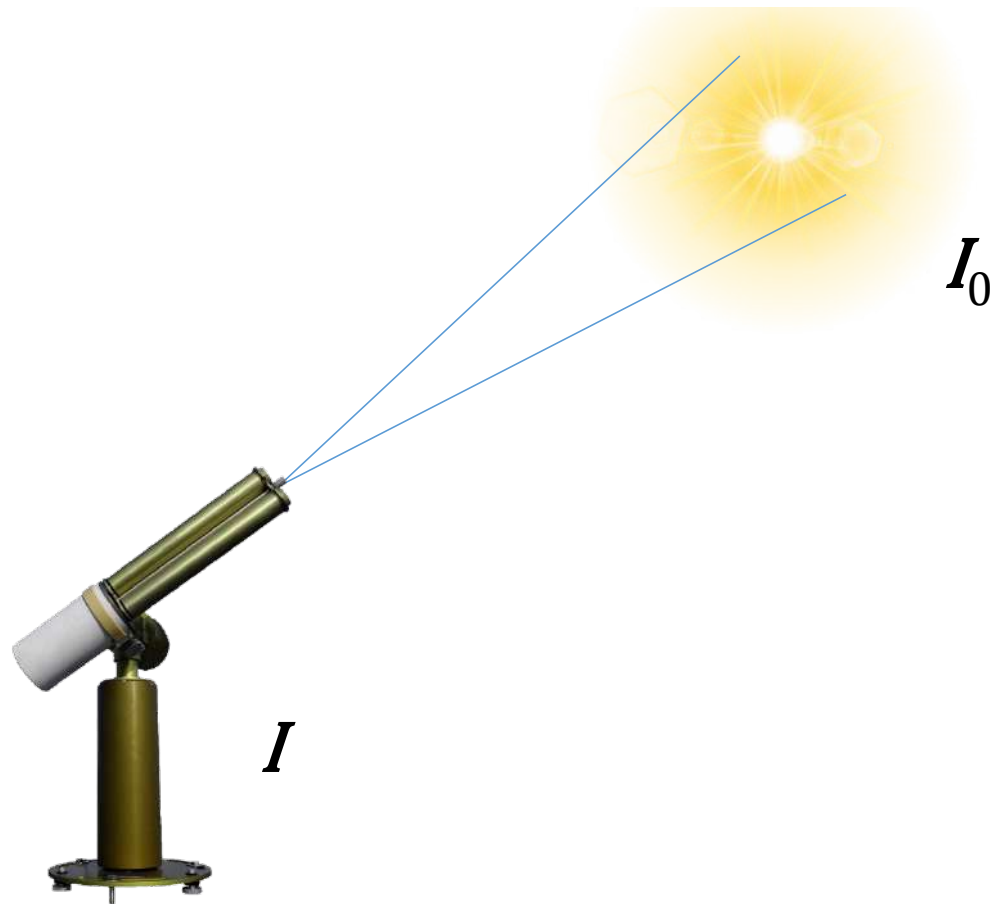
$$I = I_0 \cdot e^{-\tau \cdot m}$$

I_0 = Irradiancia incidente

I = Irradiancia transmitida
(medida en la superficie)

τ = Espesor óptico de total
(en toda la columna atmosférica)

m = Masa del Aire



Espesor Óptico por Aerosoles Espectral

Espesor Óptico Total:

$$\tau(\lambda) = -\frac{1}{m} \ln \left(\frac{I_0}{I(\lambda)} \right) \quad m = \frac{1}{\cos \theta}$$

Espesor Óptico por Aerosoles:

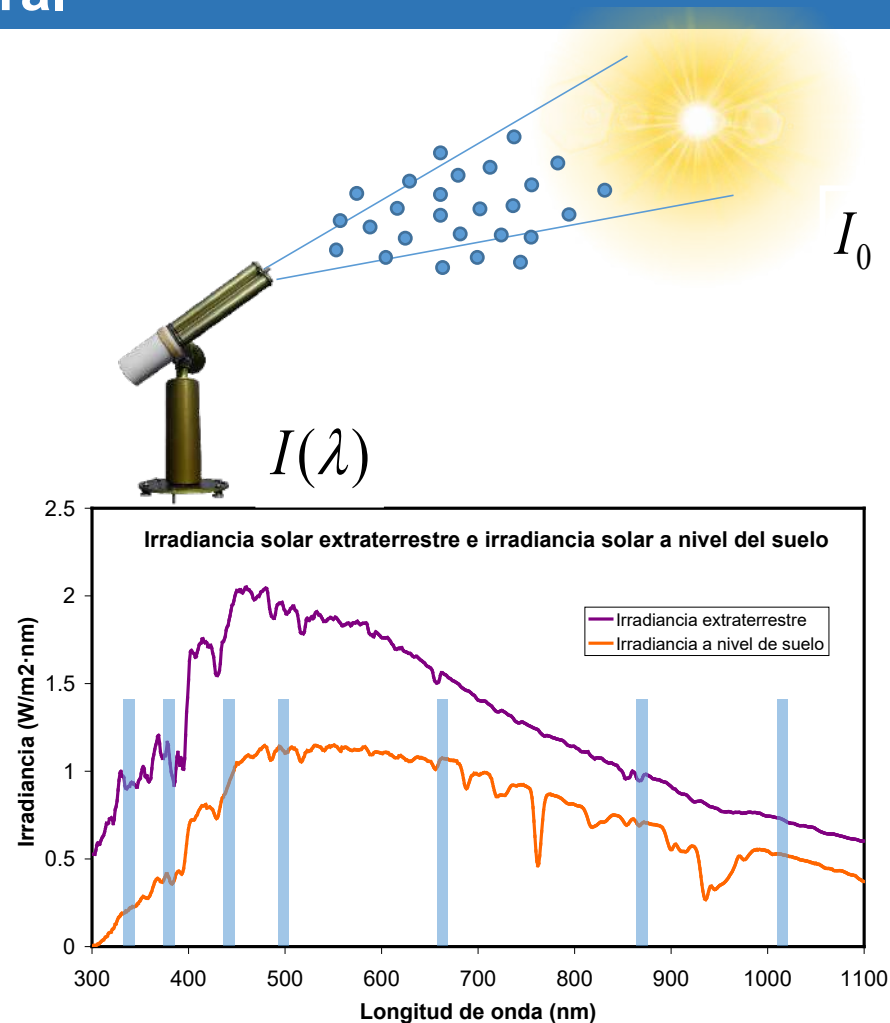
$$\tau_a(\lambda) = \tau(\lambda) - \tau_R(\lambda) - \tau_g(\lambda)$$

τ_a = Espesor Óptico por Aerosoles

τ = Espesor Óptico total

τ_R = Espesor Óptico por moléculas (Rayleigh)

τ_g = Espesor Óptico por gases
(ozono, vapor de agua, dióxido de nitrógeno, etc.)



Parámetro alfa de Ångström:

Este parámetro se utiliza para describir la forma espectral del EOA, o sea, su dependencia con la longitud de onda.

$$\tau_a = \beta \cdot \lambda^{-\alpha}$$

λ = longitud de onda (μm)

α = parámetro o exponente de Angstrom (relacionado con el tamaño del aerosol)

β = constante que coincide con el espesor óptico correspondiente a 1 μm .

Esta es una fórmula que expresa la dependencia del EOA con la longitud de onda y es un indicador del tamaño de las partículas. Los valores de alfa se encuentran en el rango entre 0 y 3.

Pequeños valores de $\alpha \rightarrow$ partículas grandes

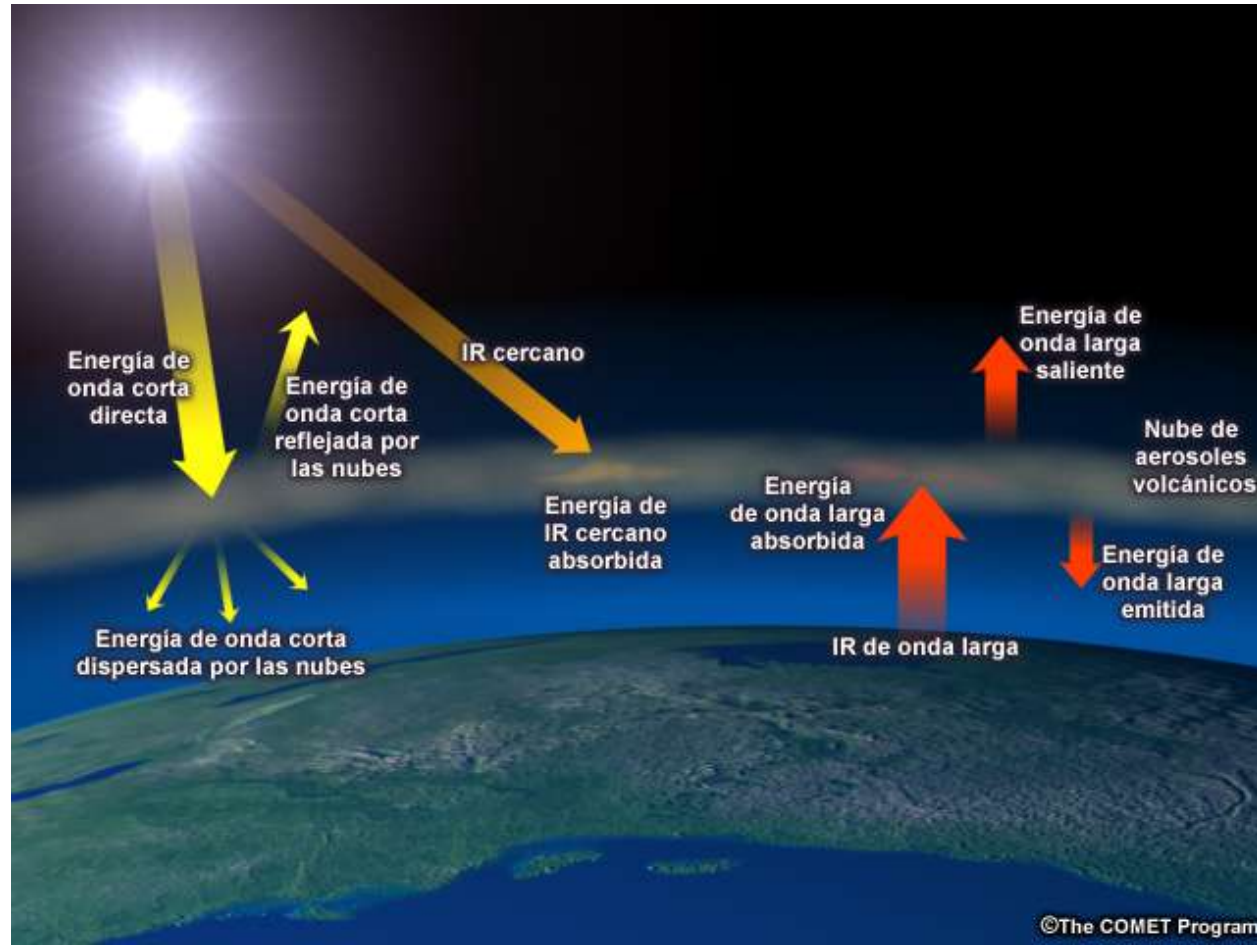
Grandes valores de $\alpha \rightarrow$ partículas pequeñas

**¿Por qué es
importante y
necesario, el estudio
de los aerosoles?**



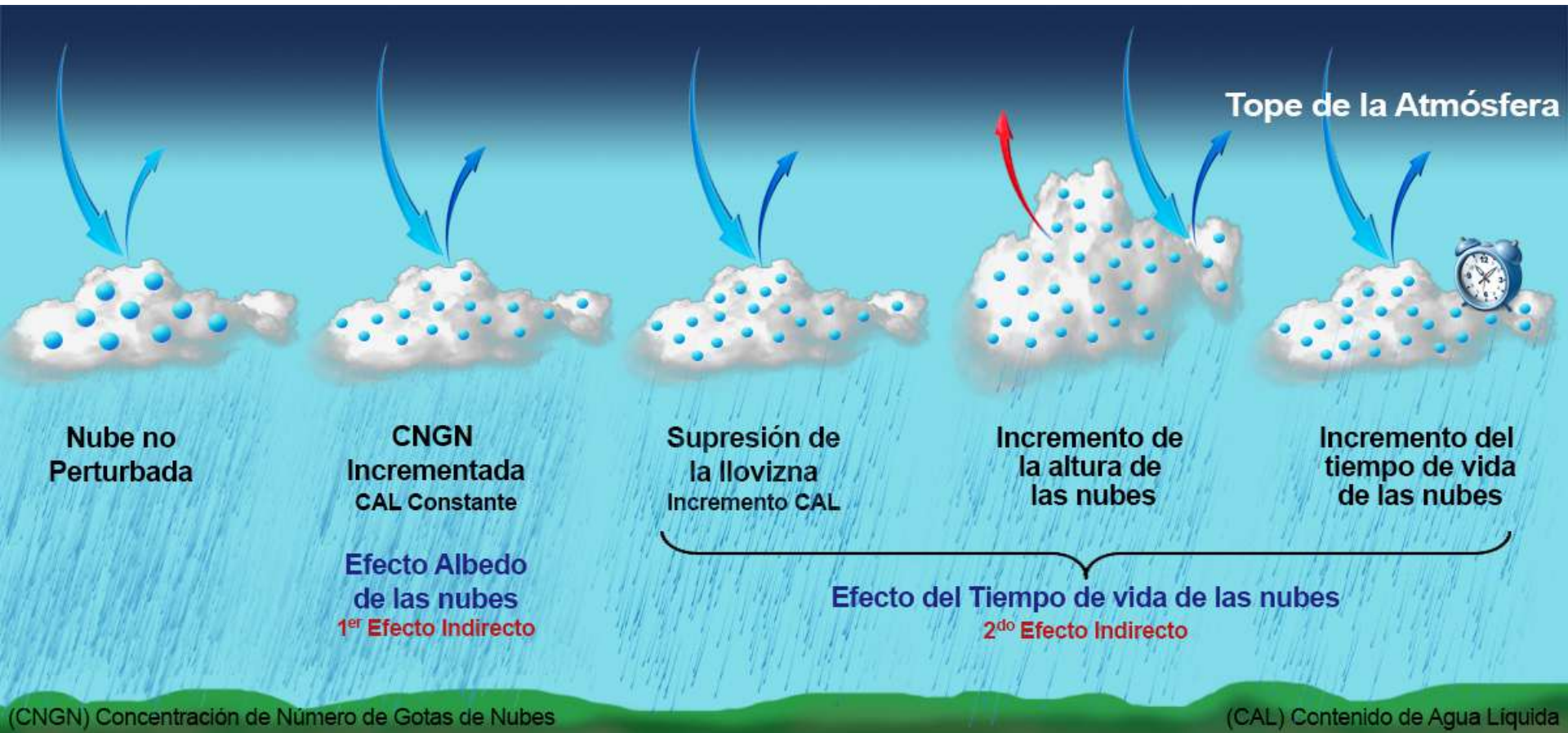
Efectos Directos (radiación solar- balance de energía)

Sobre la Radiación solar

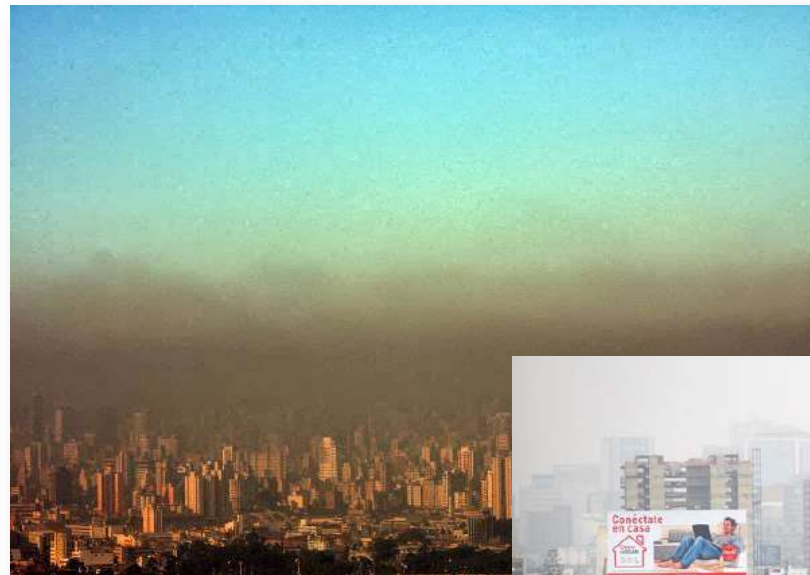


Efectos Indirectos (radiación solar - nubes)

Sobre las nubes



Efectos directos (calidad del aire)



Sao Paulo, Brasil



Bogotá, Colombia

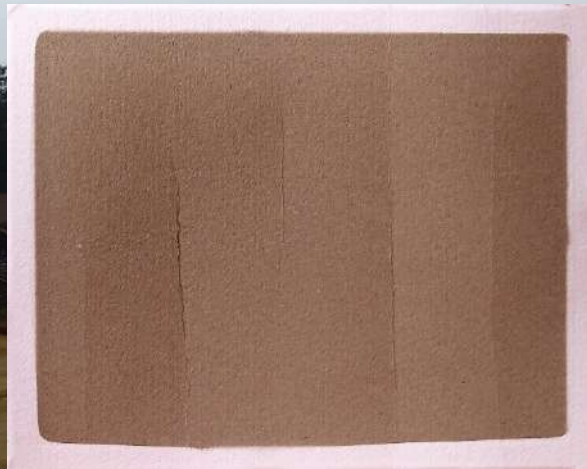


Lima, Perú

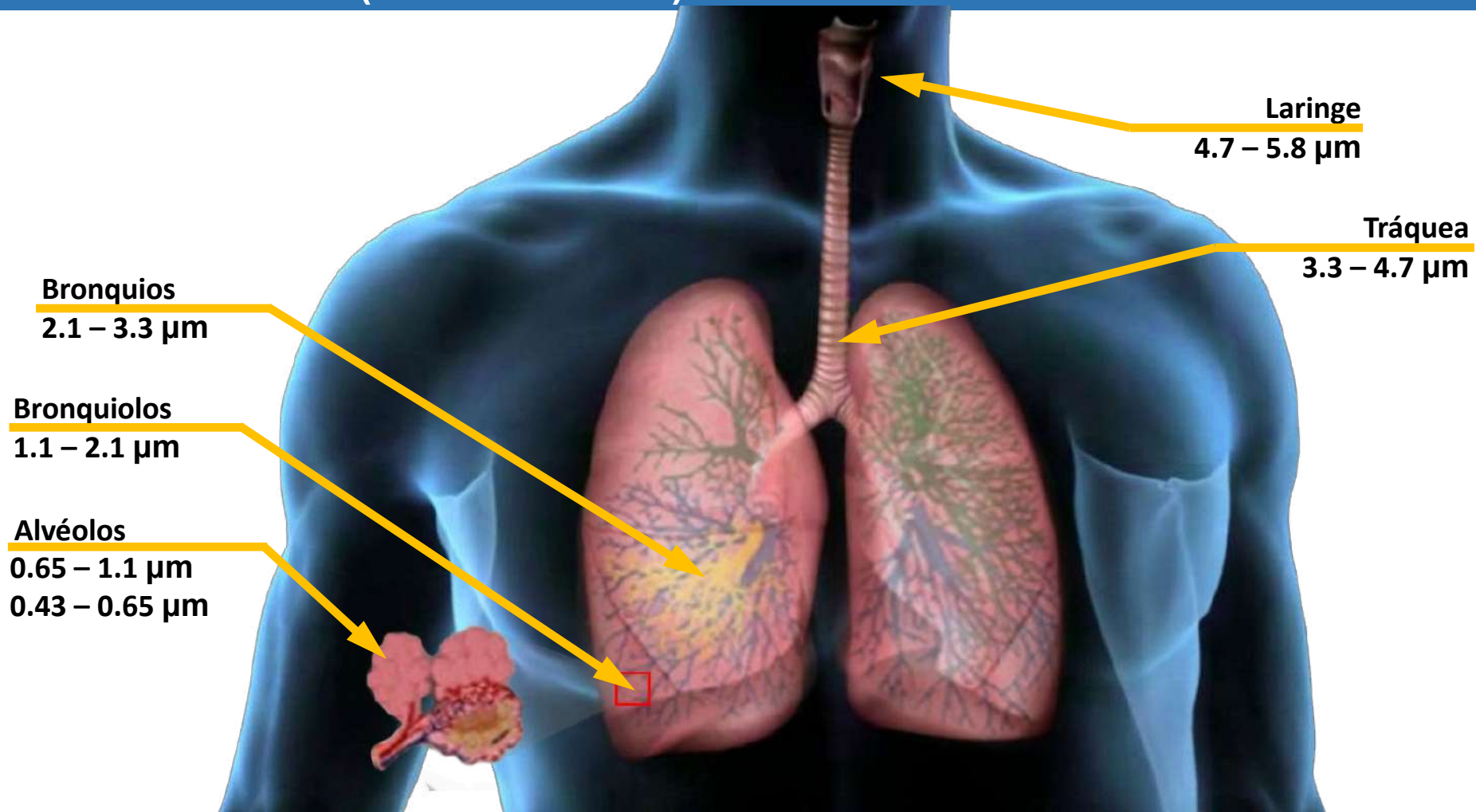
Huancayo

02 Agosto 2019 - 09:36 HL

Foto: Observatorio de Huancayo, distrito Huachac



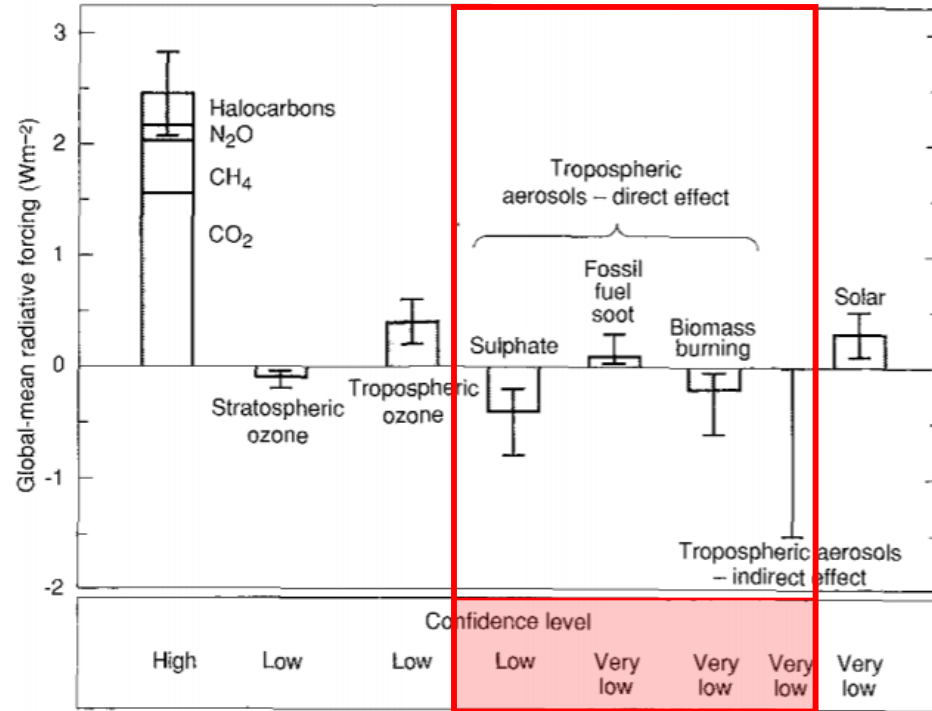
Efectos Directos (salud humana)



Escenarios de Cambio Climático

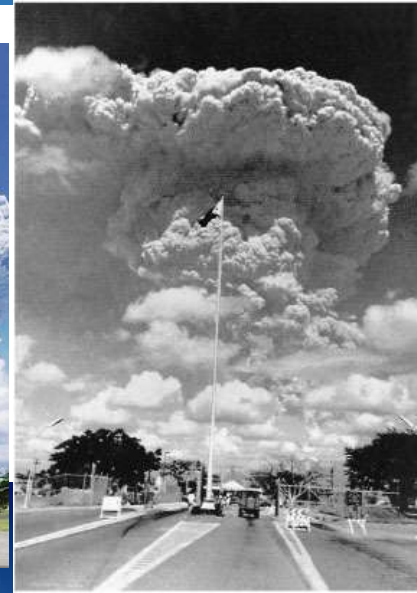
En los primeros estudios de cambio climático y durante varios años, **los modelos climáticos no tuvieron en cuenta, en su real magnitud, las retroalimentaciones provocadas por los aerosoles atmosféricos**; en consecuencia, los primeros escenarios de cambio climático fueron mucho más **catastróficos**.

IPCC - AR2: 1990



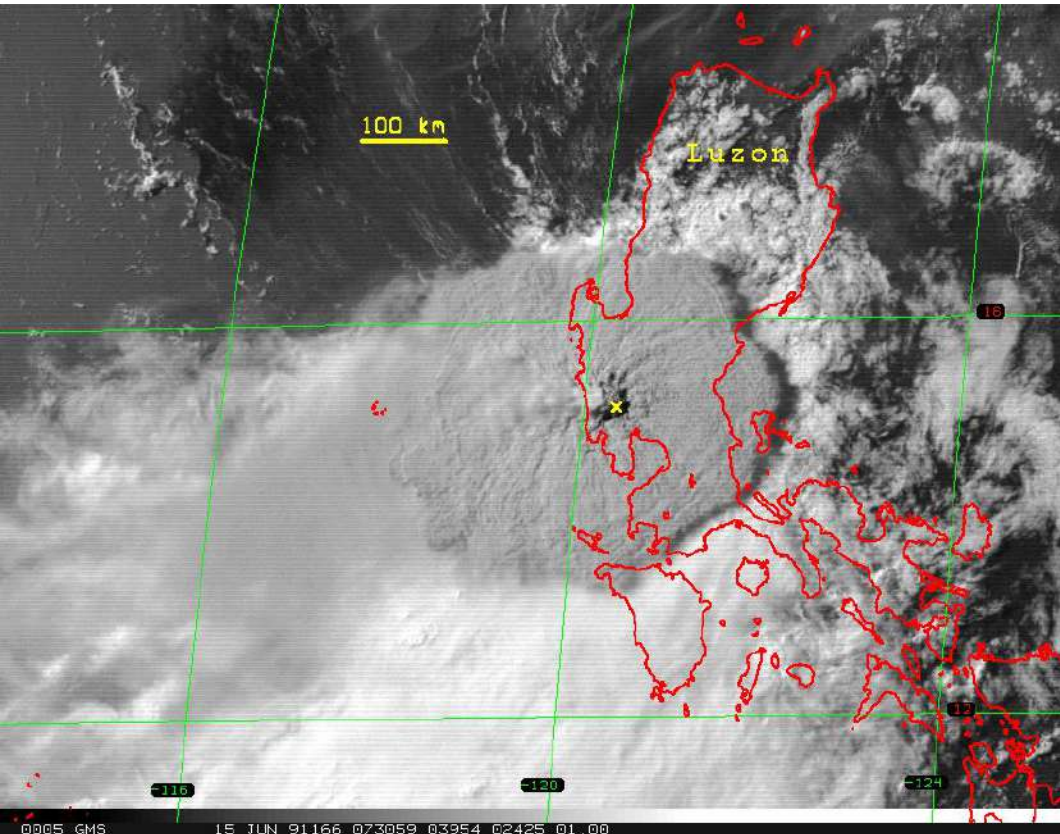
Ejemplo de Efecto Directo sobre la Radiación Solar

Erupción volcán Monte Pinatubo
(15-06-1991, Filipinas)



Erupción volcán Monte Pinatubo

La nube de aerosoles se dispersó rápidamente alrededor de la Tierra en aproximadamente tres semanas y al año había cubierto prácticamente todo el planeta.



La columna de gases que generó esta erupción alcanzó los 35 km de altura.

La cantidad de SO_2 inyectada a la estratósfera fue de 20 Mt.



Las concentraciones de ozono en latitudes medias alcanzaron niveles bajos record durante 1992 – 1993.

Erupción volcán Monte Pinatubo (efectos locales)

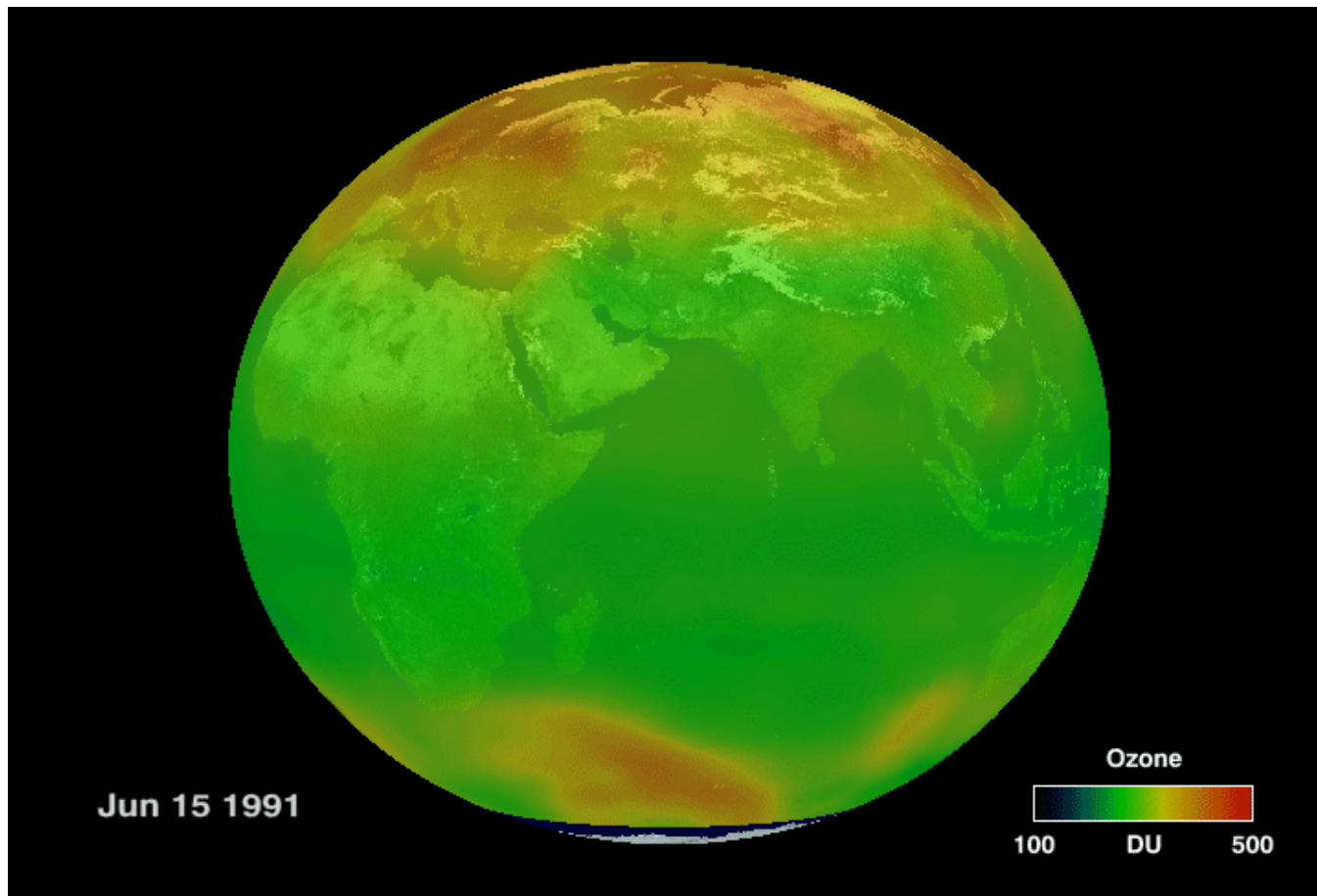


Erupción volcán Monte Pinatubo (efectos locales)



Erupción volcán Monte Pinatubo (efectos directos)

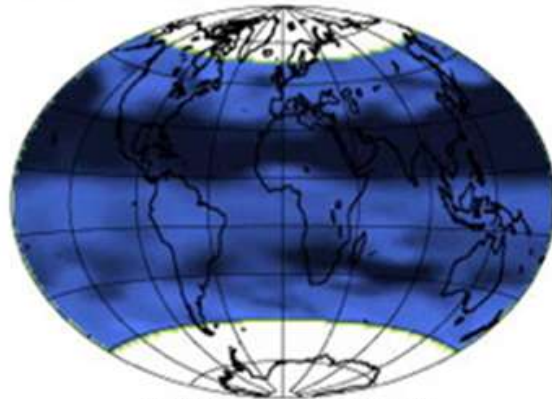
Disminución del ozono estratosférico



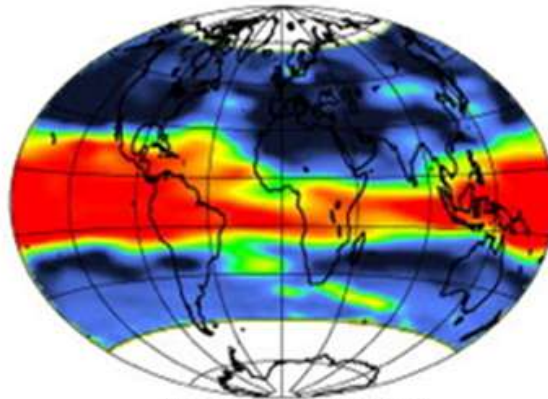
Nimbus-7 / TOMS

15 – 30 Junio, 1991

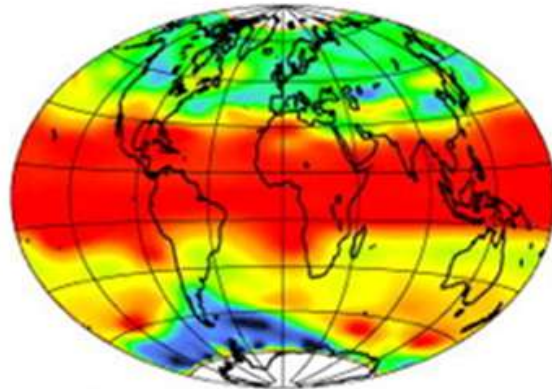
Erupción volcán Monte Pinatubo (efectos globales)



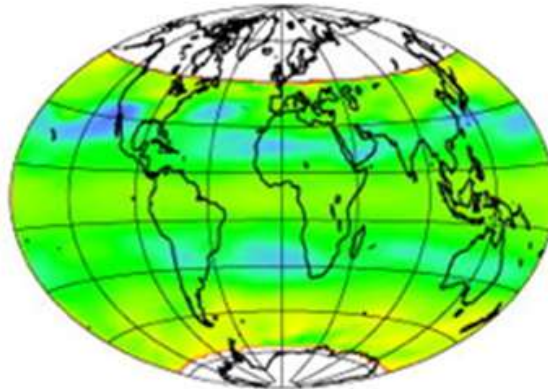
10-Abr-91 al 13-May-91



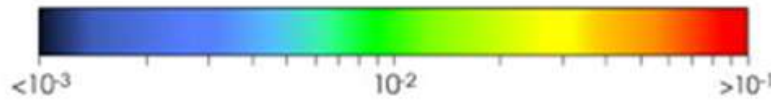
15-Jun-91 al 25-Jul-91



23-Ago-91 al 30-Sep-91



05-Dic-93 al 16-Ene-94

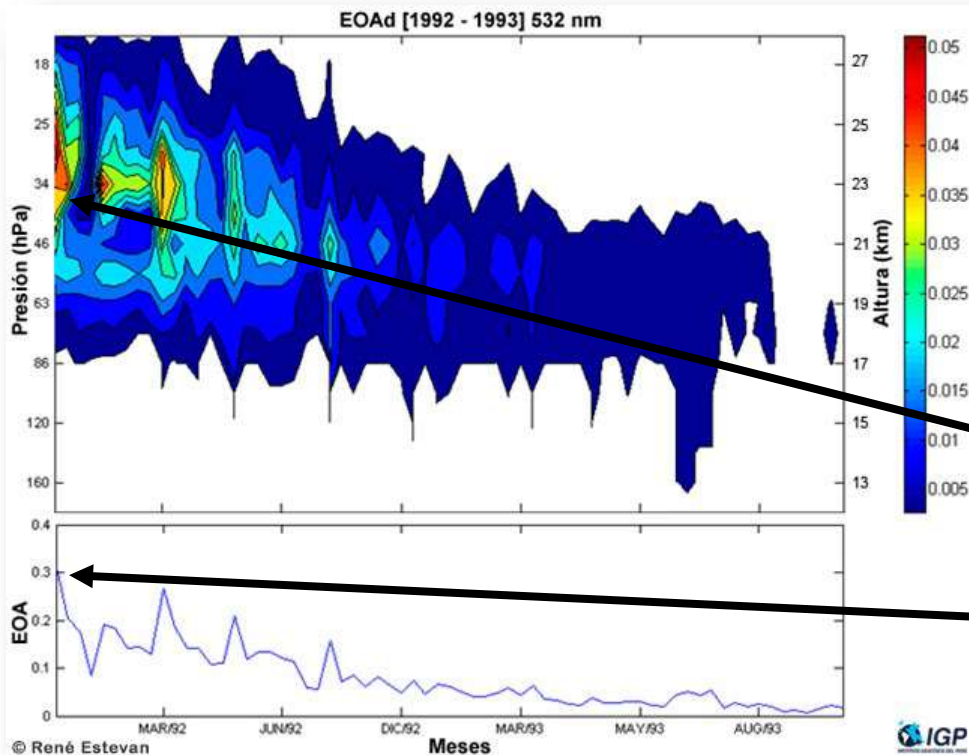


SAGE II

Espesor Óptico por Aerosoles
1020 nm

Erupción volcán Monte Pinatubo

Mediciones realizadas con el
lidar de Camagüey, Cuba



Camagüey
21.42° N, 77.87° W, 118 m

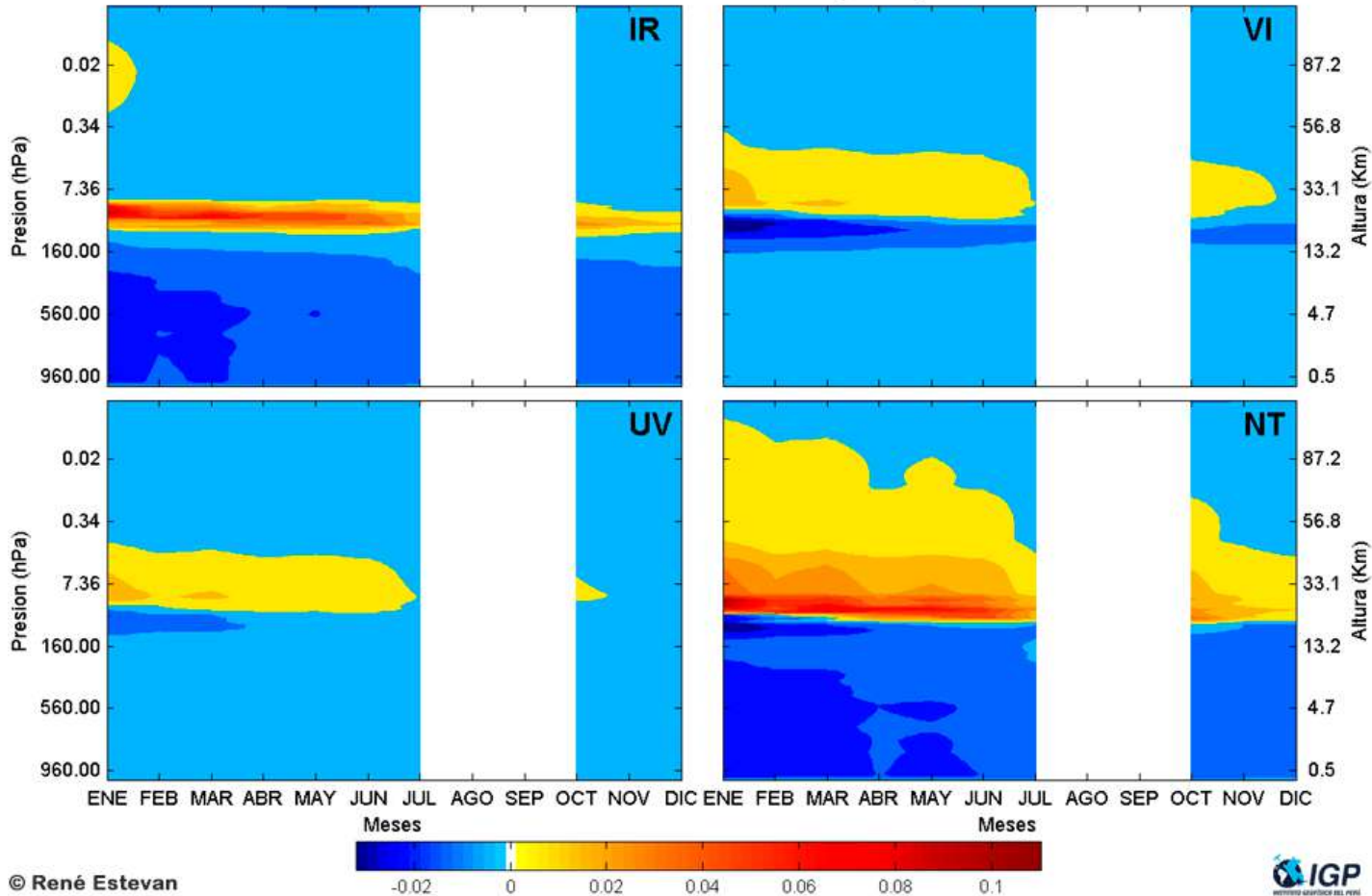


EOAd para cada día de medición
Máximo $5.39 \cdot 10^{-2}$ (23 - 25 km)

EOA para cada día de medición
Máximo 0.31 (Enero 1992)

Erupción volcán Monte Pinatubo

Razón de Calentamiento (1992)



Calentamiento:
0.1 K/d, 25 - 28 km

Enfriamiento:
- 0.03 K/d, 18 - 20 km

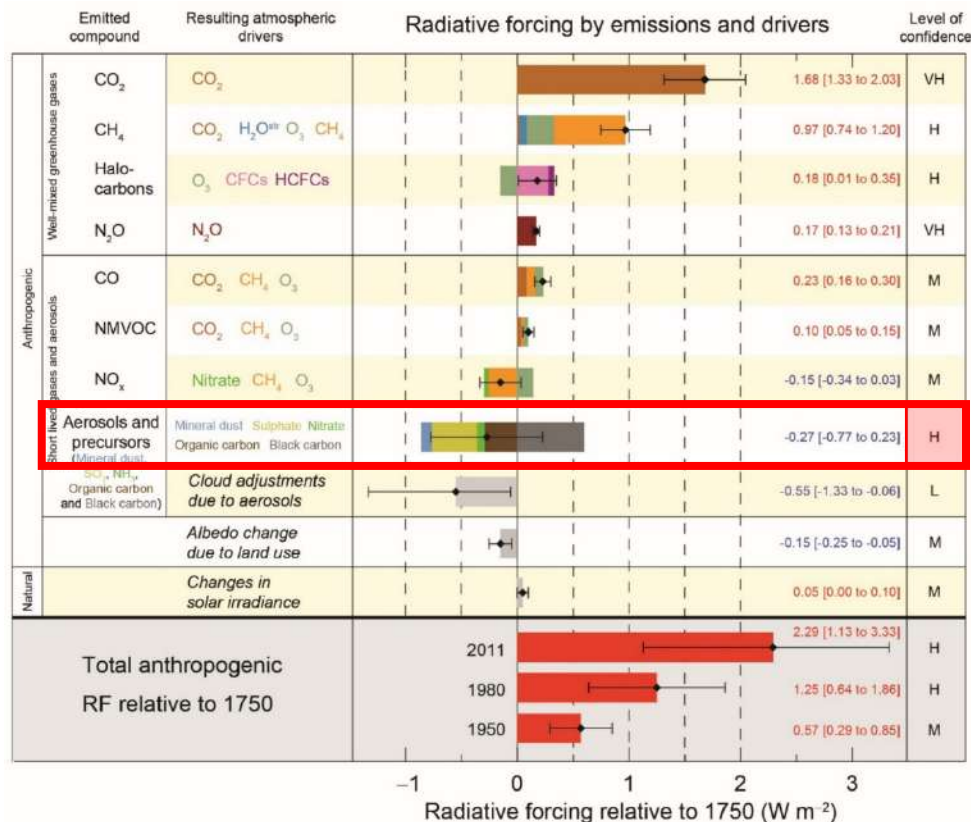
Mejora de los Escenarios de Cambio Climático

La erupción del volcán Pinatubo favoreció, durante la década de los 90, la modificación de las ecuaciones que servían de base a los modelos climáticos.

Se comenzaron a tener en cuenta las retroalimentaciones debido a la presencia de aerosoles atmosféricos.

Los resultados obtenidos por los modelos climáticos mejoraron considerablemente.

IPCC – AR5: 2013



Mediciones de Aerosoles en Huancayo

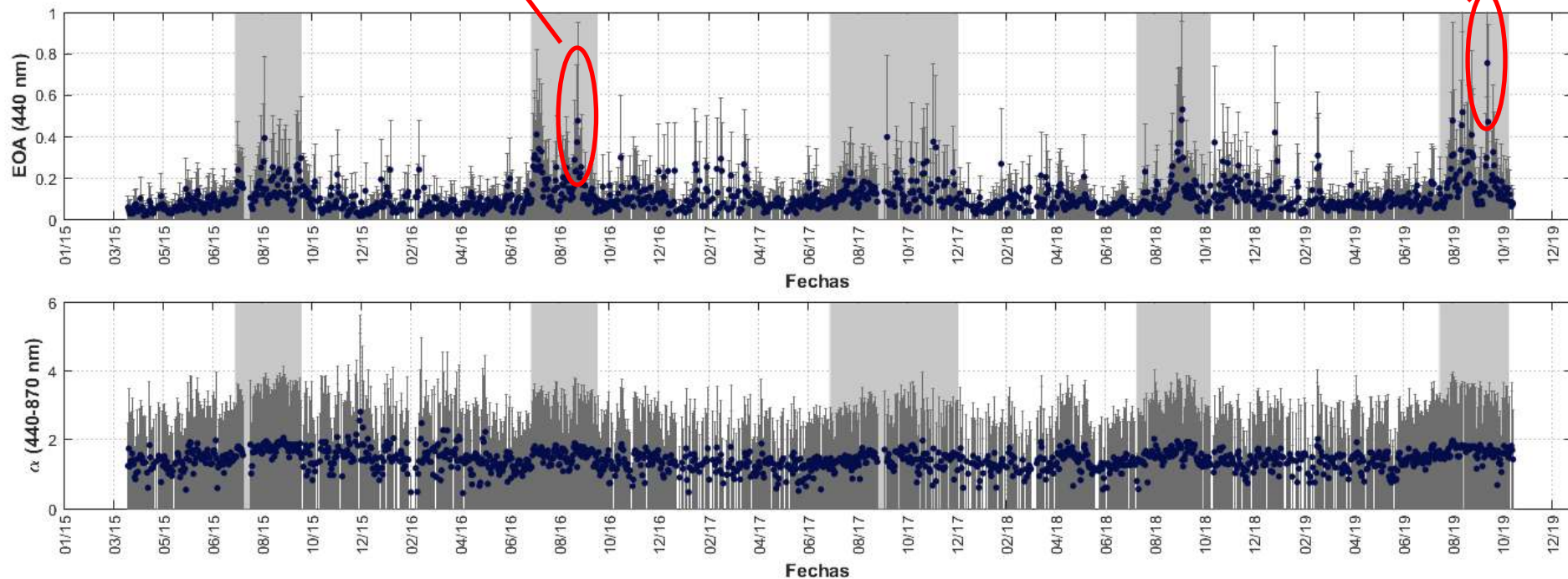
Versión 3 AERONET

Máximo
Absoluto

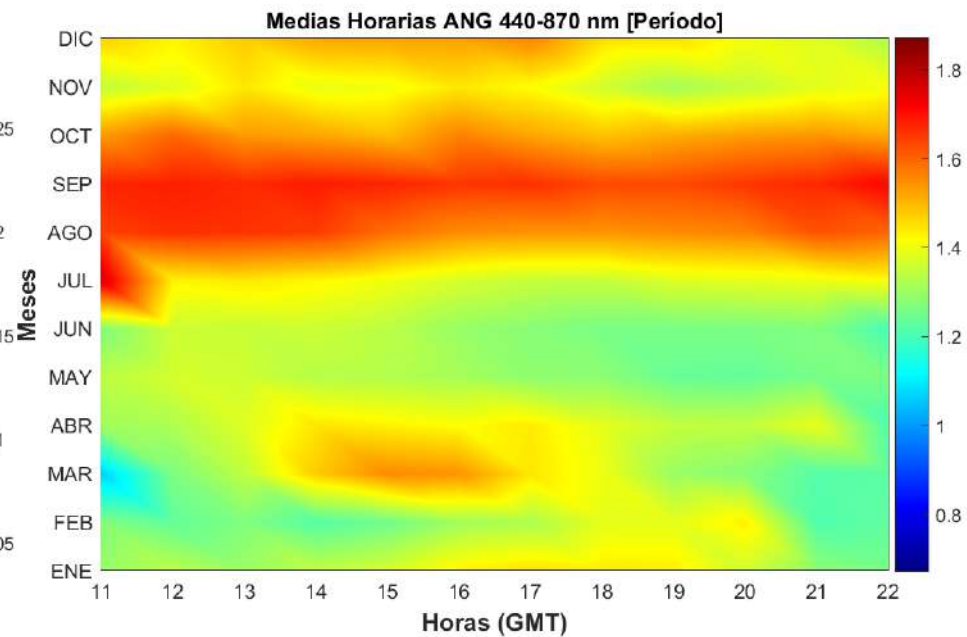
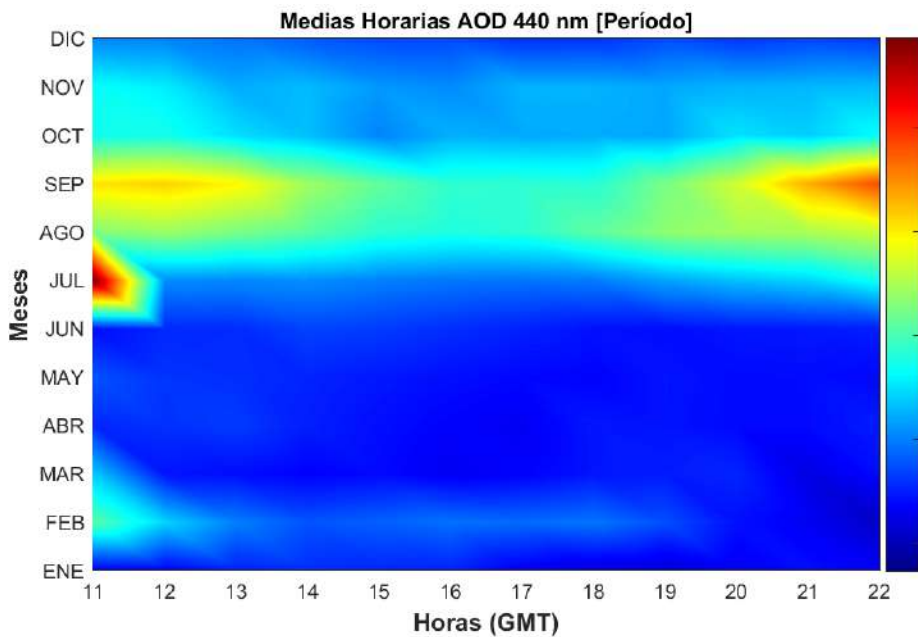
AOD = 0.87
14 - 09 - 2016
11:44 UTC

Máximo
Medias
Diarias

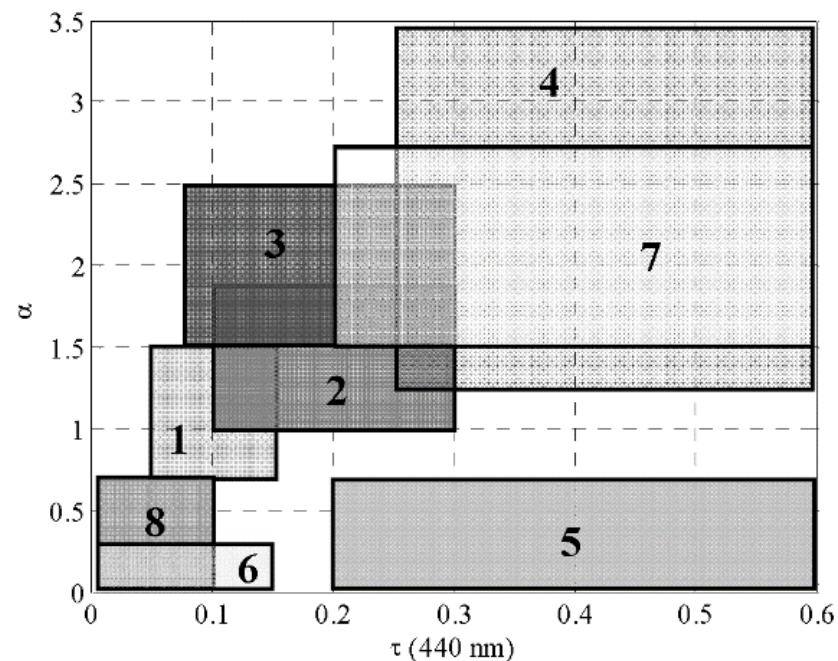
AOD = 0.75
19 - 09 - 2019



Espesor Óptico por Aerosoles

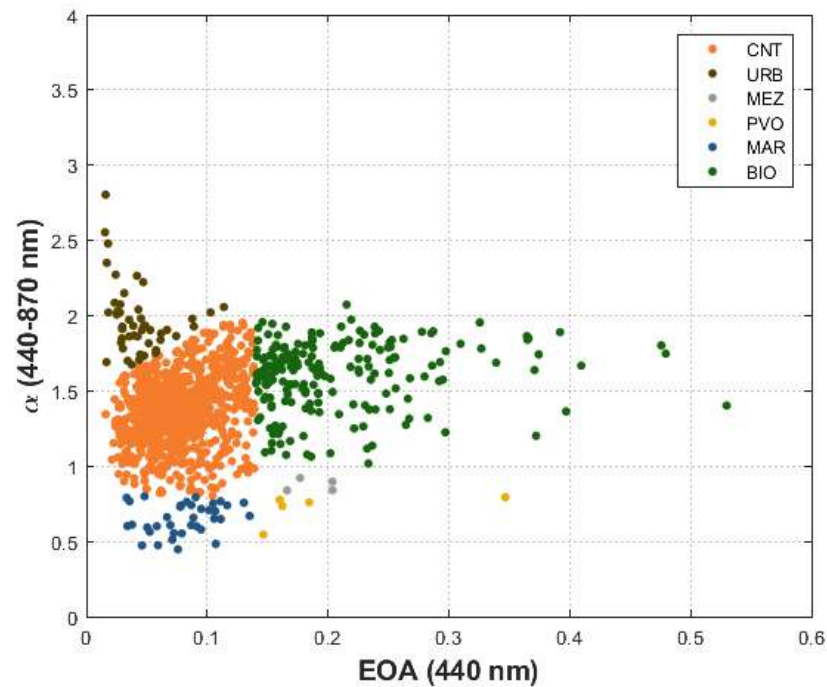
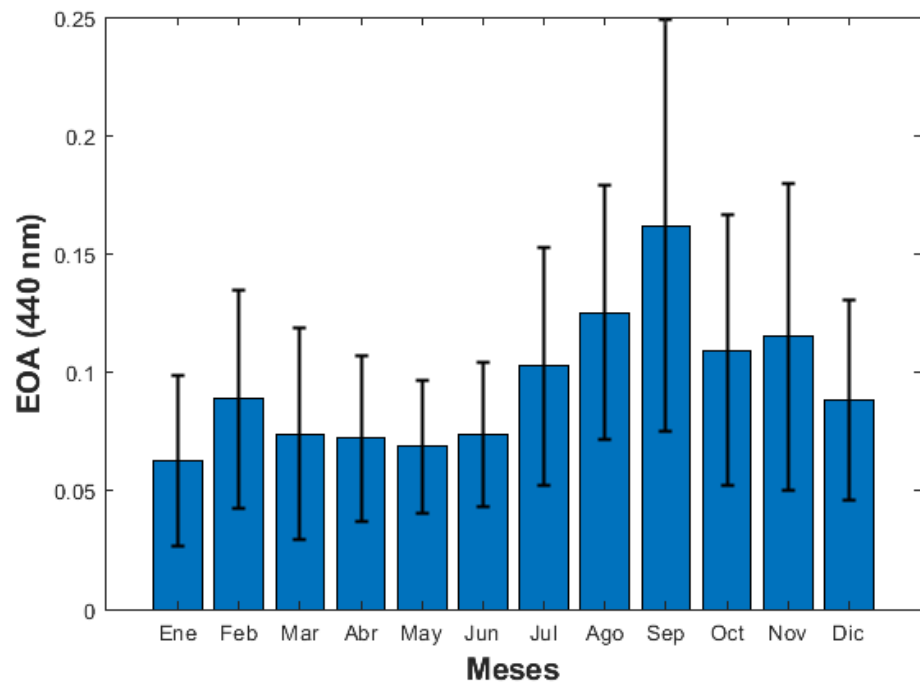


Clasificación de los Aerosoles

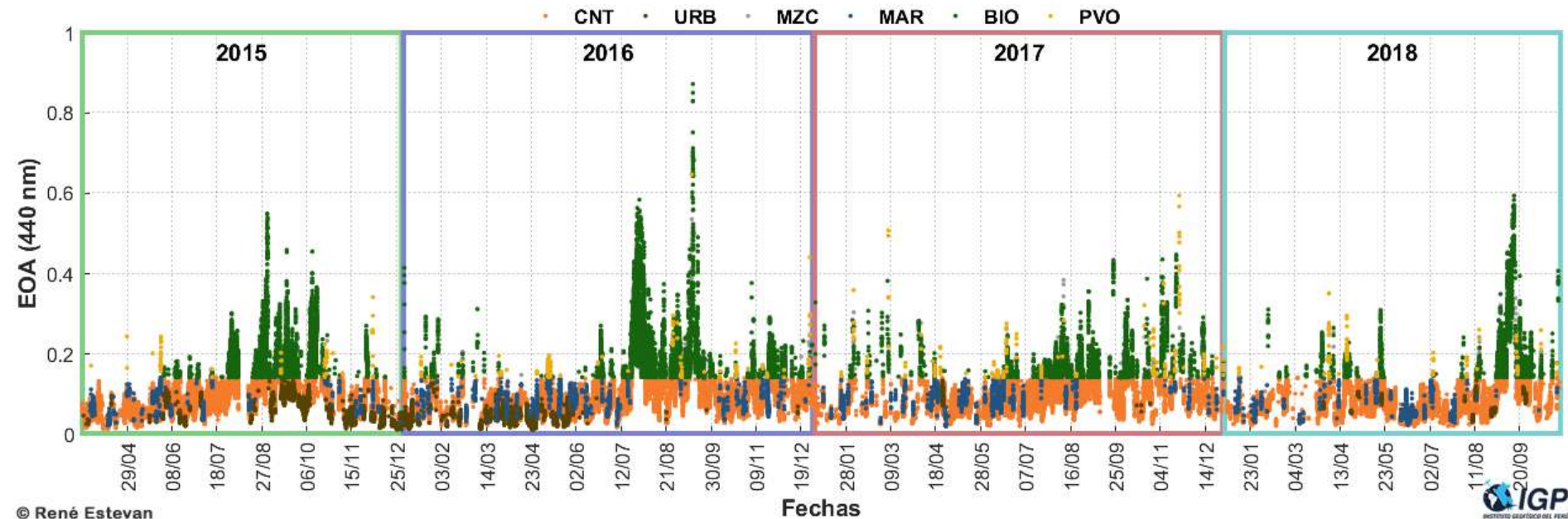


Tipo	τ_{440}	α
1. Continental Limpio	0.05 – 0.15	0.8 – 1.5
2. Continental Promedio	0.1 – 0.3	1 – 1.7
3. Continental Contaminado	0.08 – 0.3	1.5 – 2.5
4. Urbanos/Industriales	> 0.25	> 1.2
5. Desértico	> 0.2	< 0.8
6. Marítimo	< 0.15	< 0.3
7. Quema de Biomasa	> 0.2	1.5 – 2.6
8. Antártico	< 0.1	< 0.8

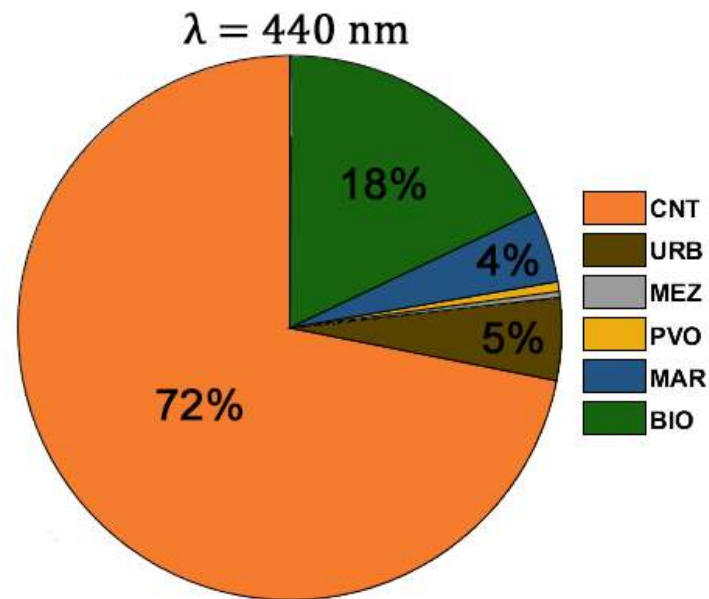
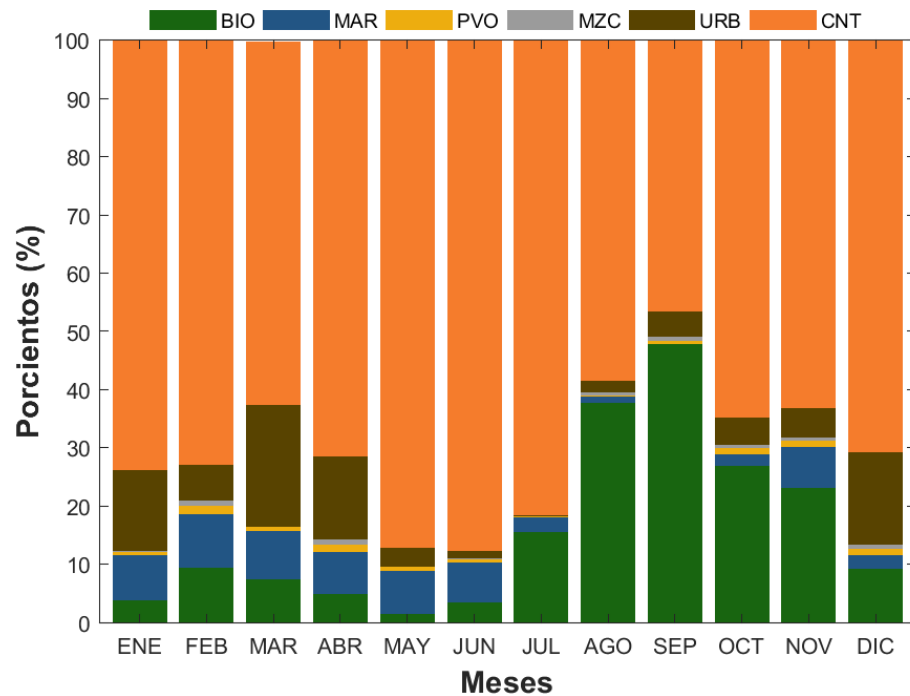
Espesor Óptico por Aerosoles



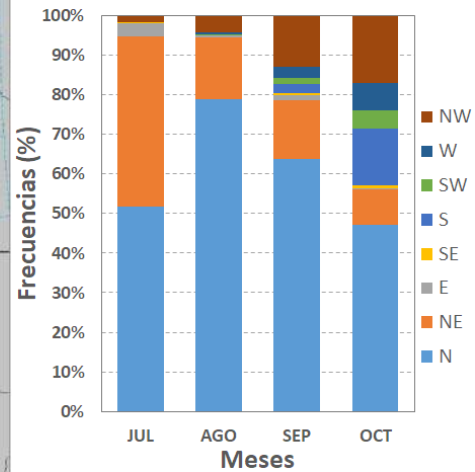
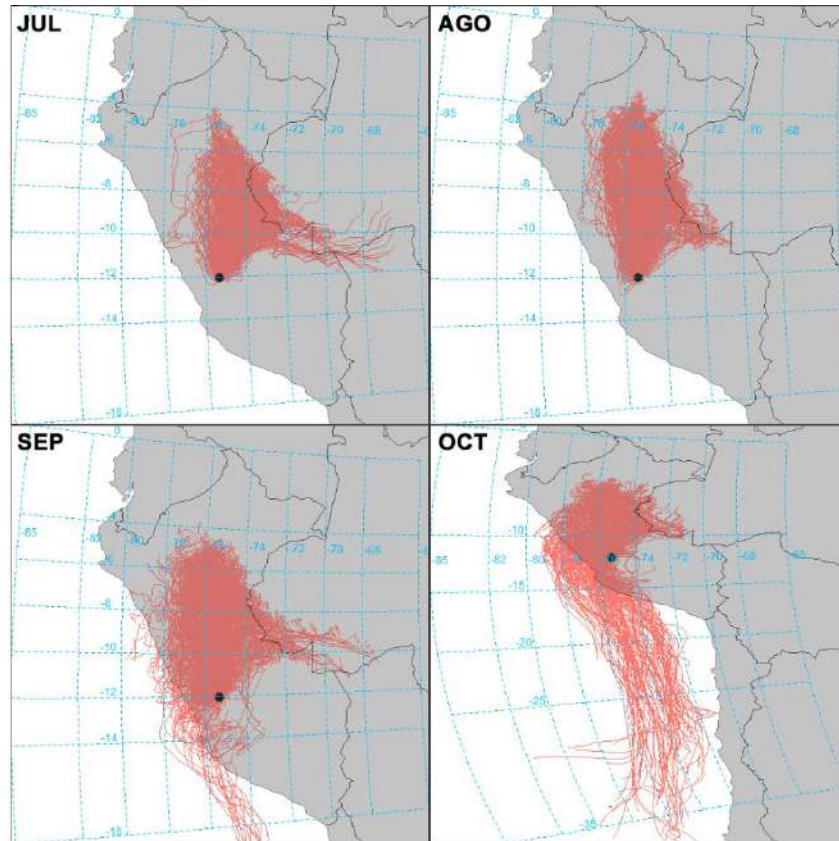
Espesor Óptico por Aerosoles



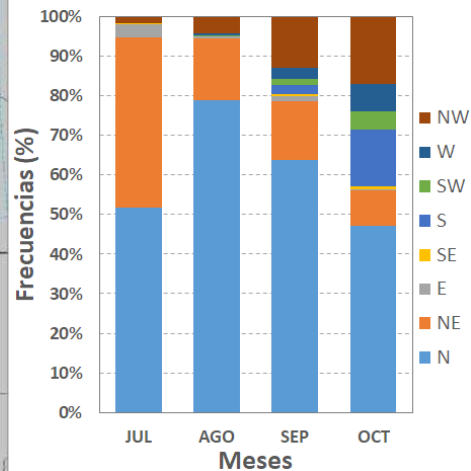
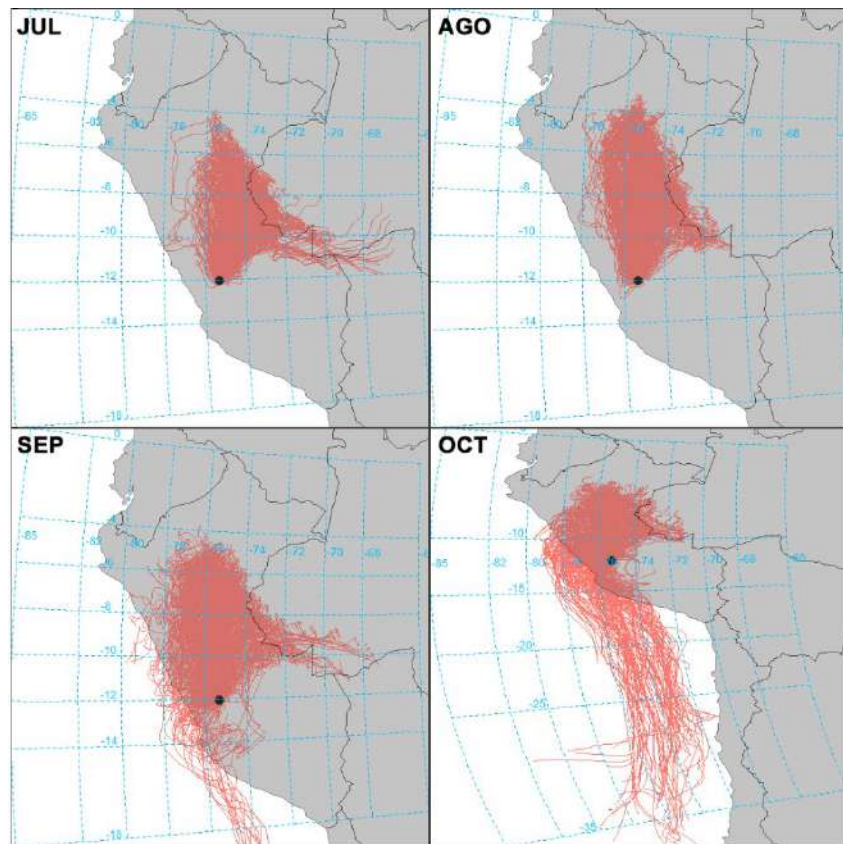
Espesor Óptico por Aerosoles



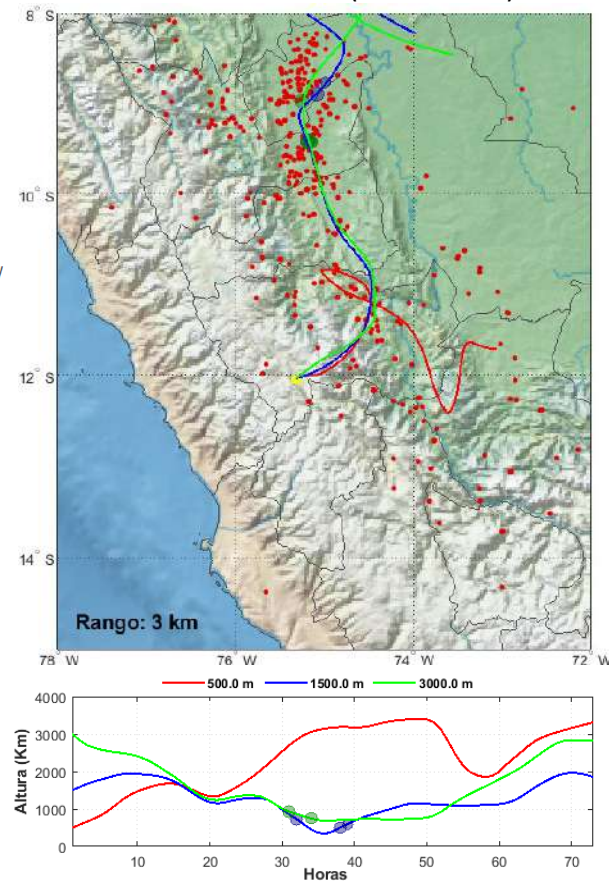
Regiones Fuentes



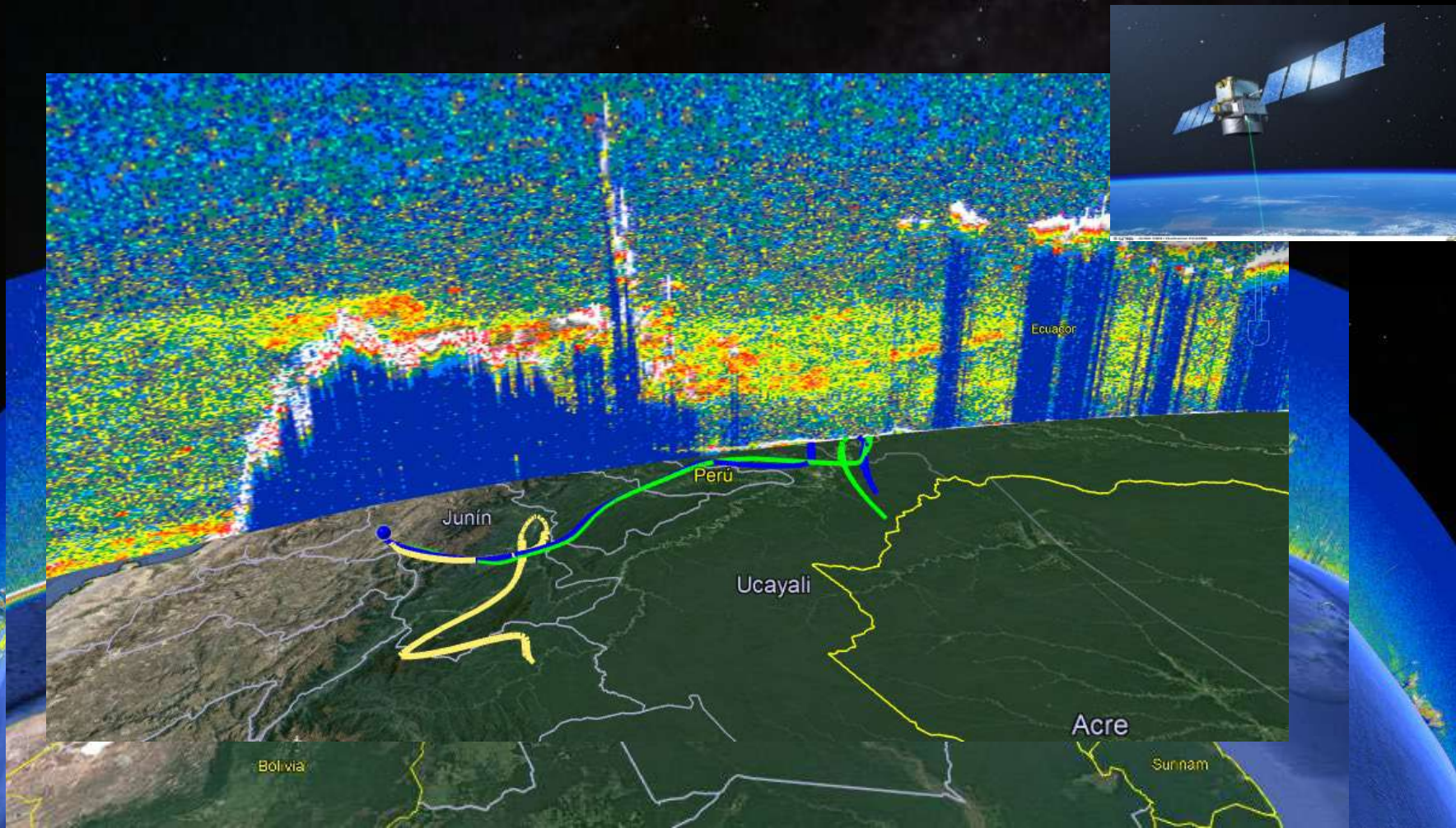
Regiones Fuentes (Máximo Absoluto)



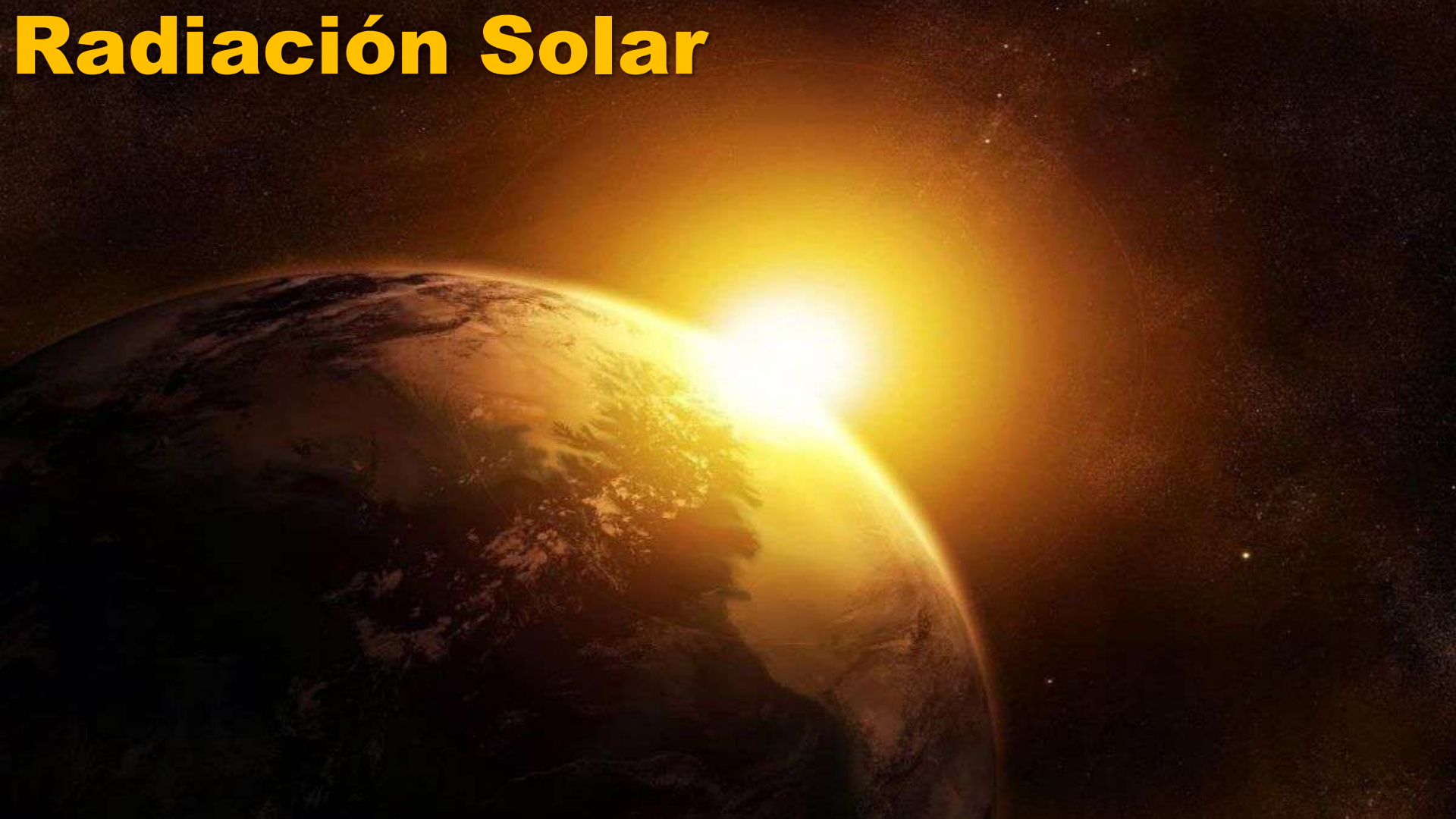
Retrotraectorias (HYSPLIT) 72 horas
14-09-2016 12z (AOD = 0.87)



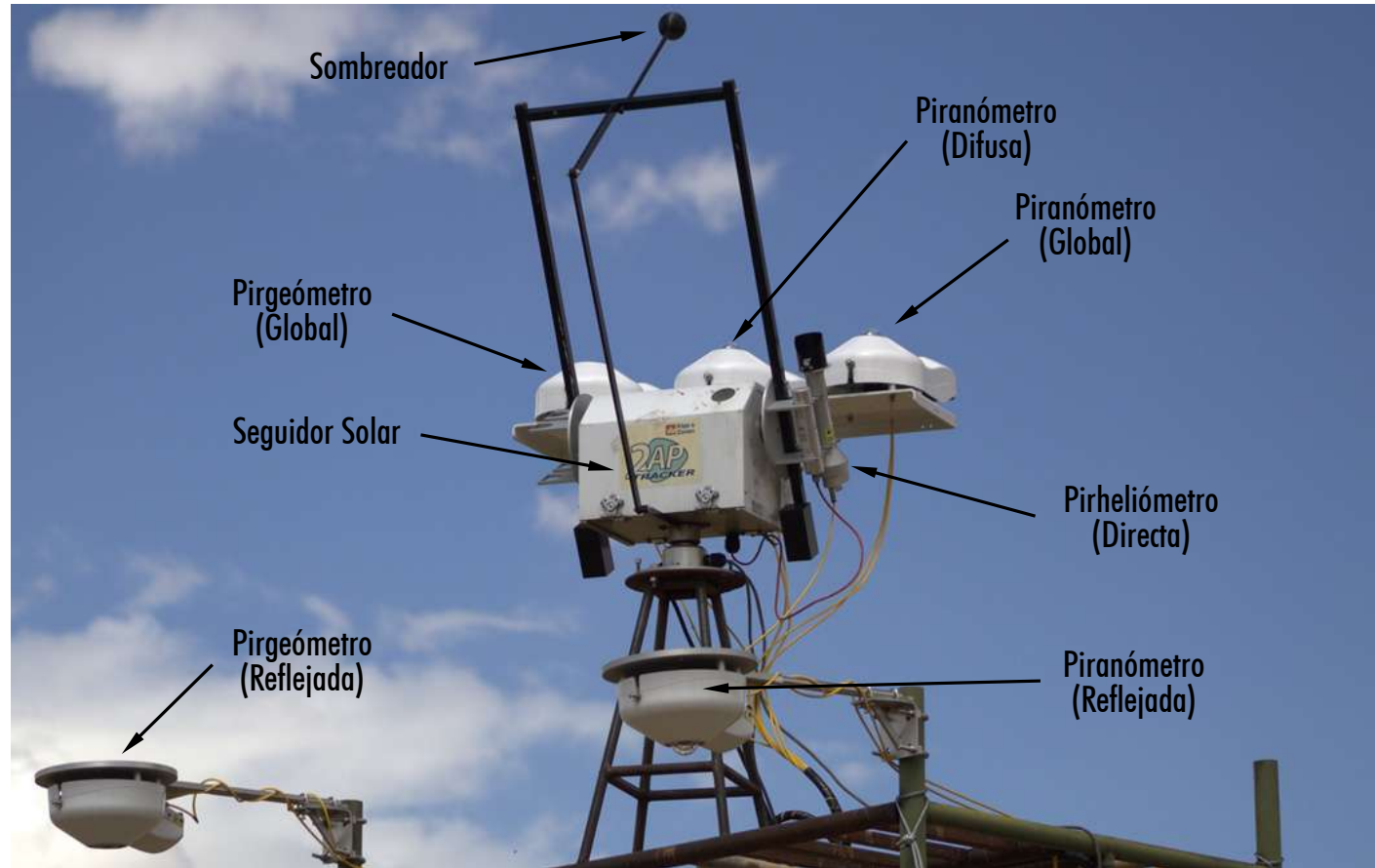
CALIPSO - 14-06-2016 (Máximo Absoluto)



Radiación Solar



Estación BSRN (Huancayo)



Baseline Surface Radiation Network (BSRN)

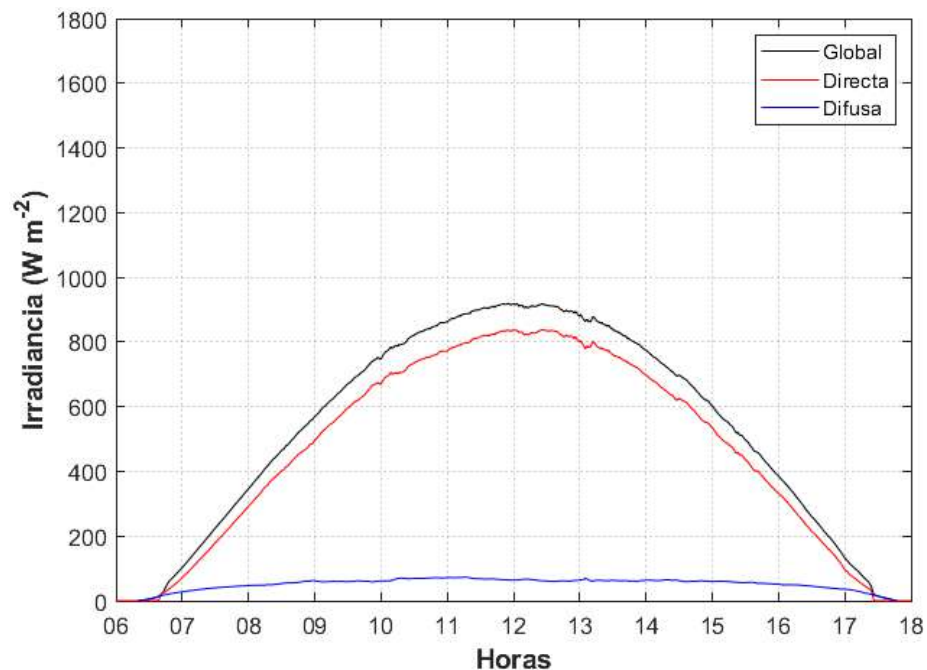
Estaciones BSRN (2020)

- 71 estaciones BSRN en operación;
- 13 estaciones están cerradas temporal o permanentemente;
- las estaciones miden diferentes conjuntos de valores de radiación;
- algunas estaciones realizan solo **mediciones básicas**;
- otras estaciones realizan **otras medidas** además de las medidas básicas;
- parte de las estaciones también realizan observaciones sinópticas, sondeos aéreos, mediciones de ozono y mediciones ampliadas;

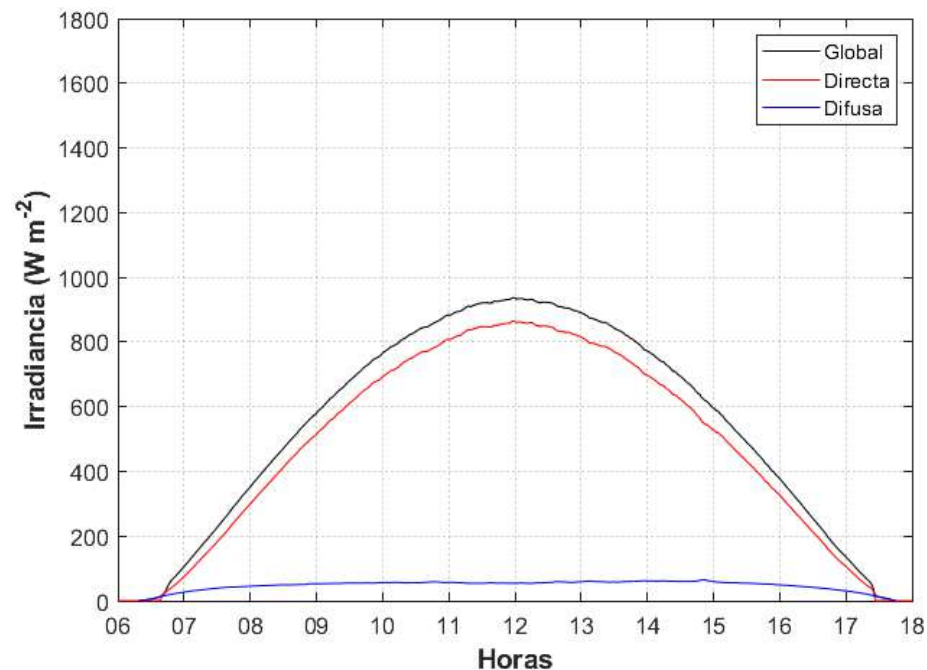


Mediciones de radiación solar

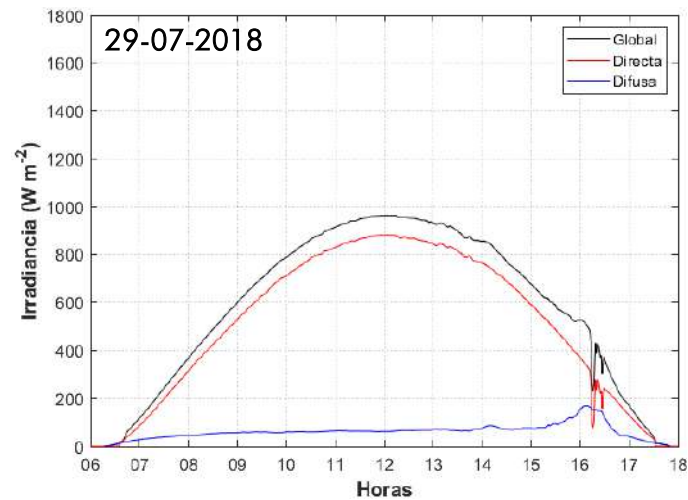
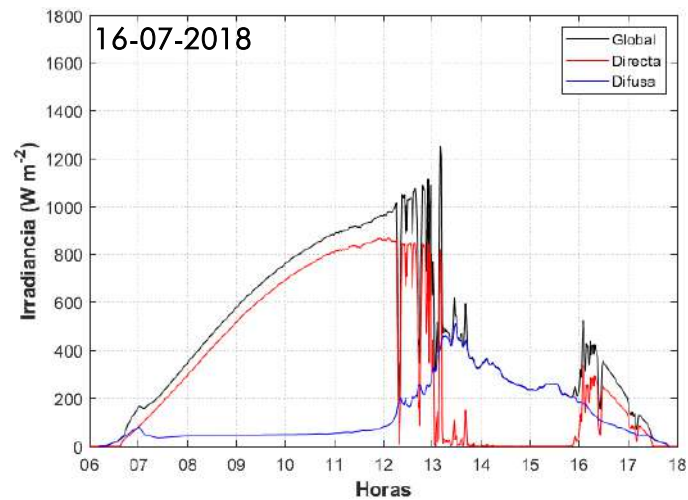
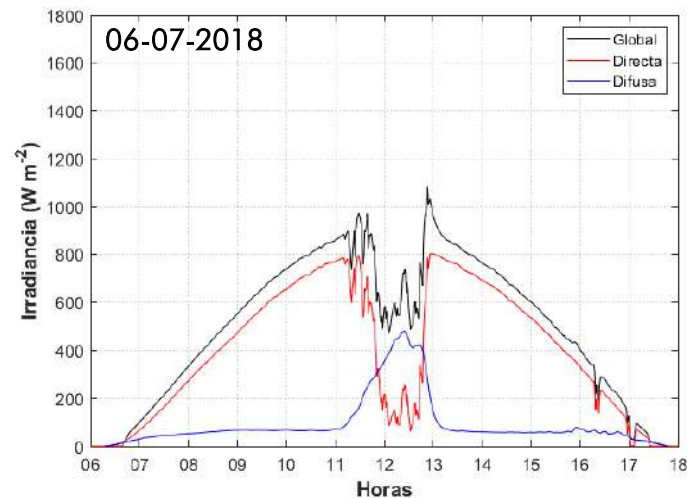
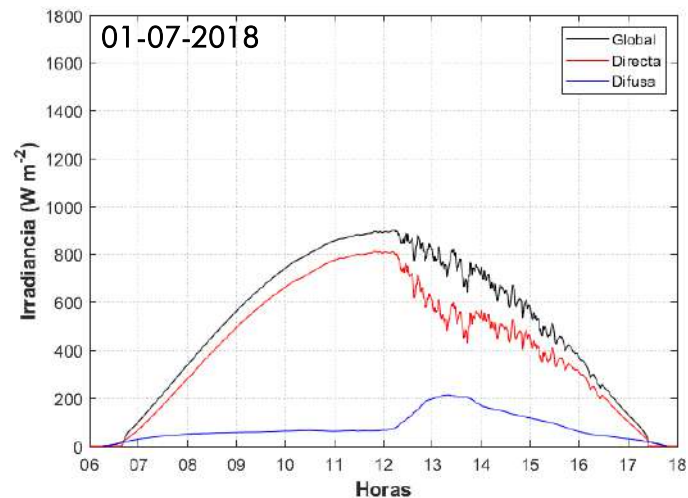
Irradiancias 07-07-2018



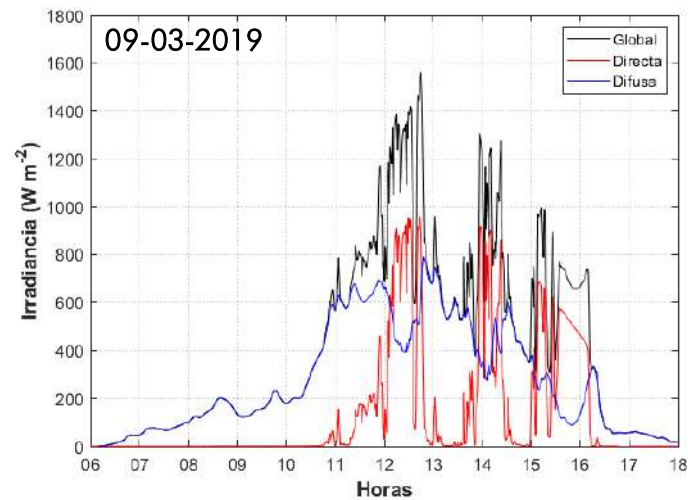
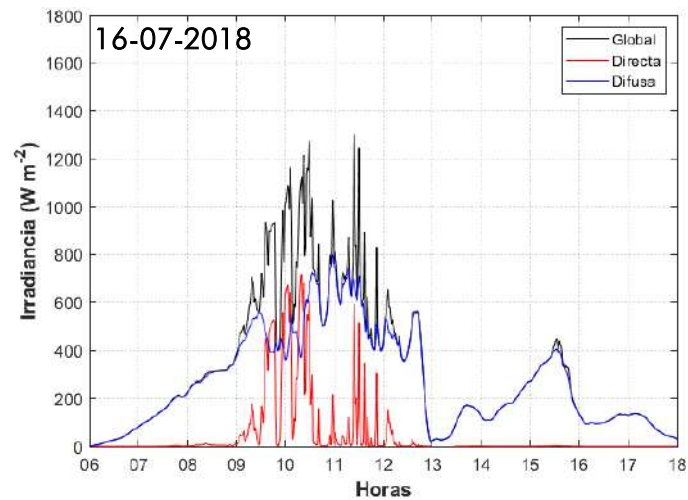
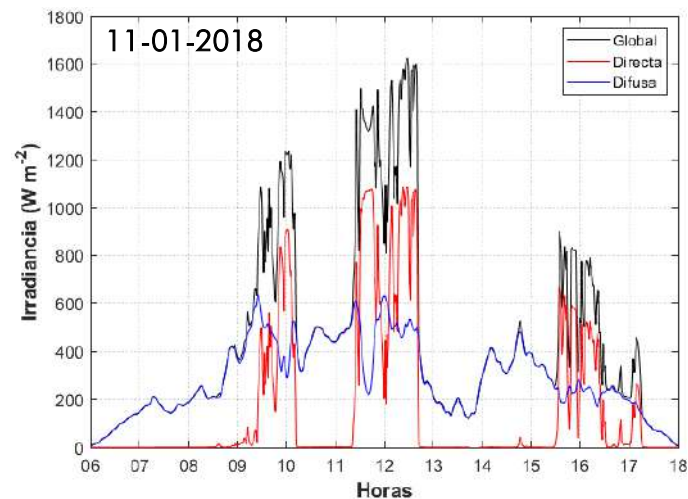
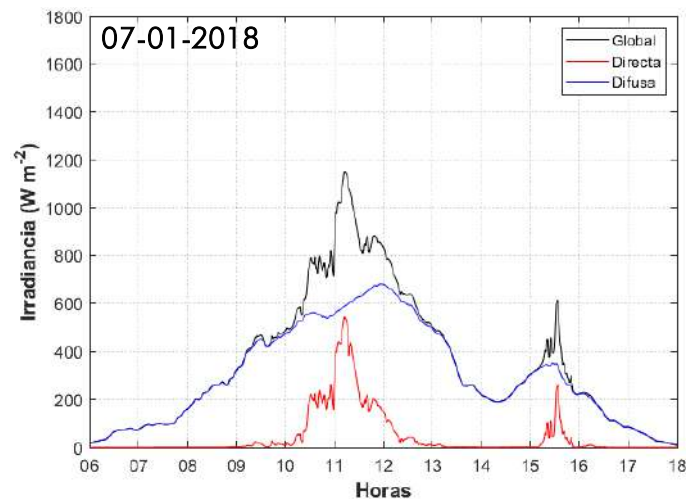
Irradiancias 08-07-2018



Irradiancias (pocas nubes)



Irradiancias (nublado)





**Forzamiento
Radiativo**

Definición de Forzamiento Radiativo

Forzamiento Radiativo

La diferencia del flujo neto de energía (irradiancia descendente menos ascendente)...

$$FN = F \downarrow - F \uparrow$$

...entre un estado inicial y uno perturbado de los componentes atmosféricos, tales como, el Dióxido de Carbono o los Aerosoles, en un nivel específico en la atmósfera; se aplica también a la perturbación de la radiación reflejada en la superficie de la Tierra debido a cambios en el albedo.

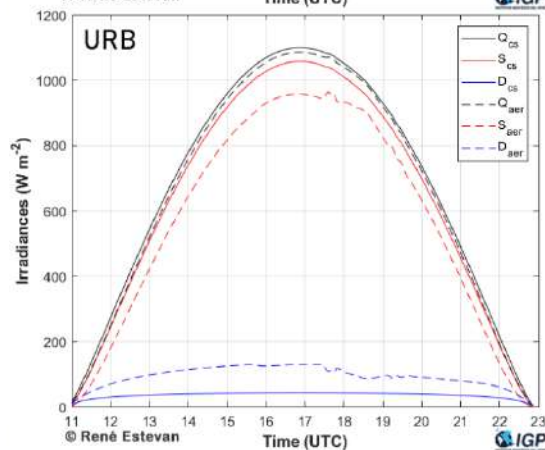
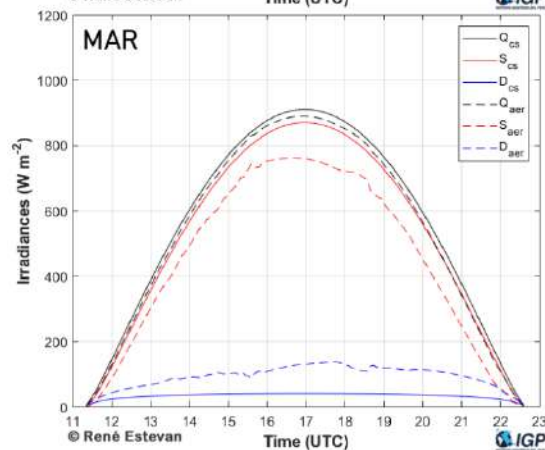
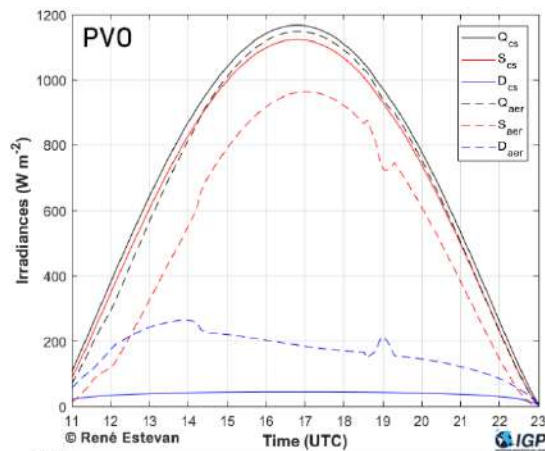
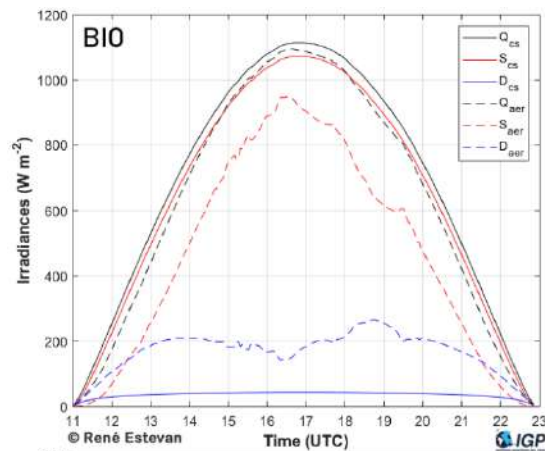
$$\textit{Forzamiento Radiativo} = FN_{\textit{perturbado}} - FN_{\textit{no perturbado}}$$

Forzamiento Radiativo por Aerosoles

$$FRA = FN_{AER} - FN_{CC}$$

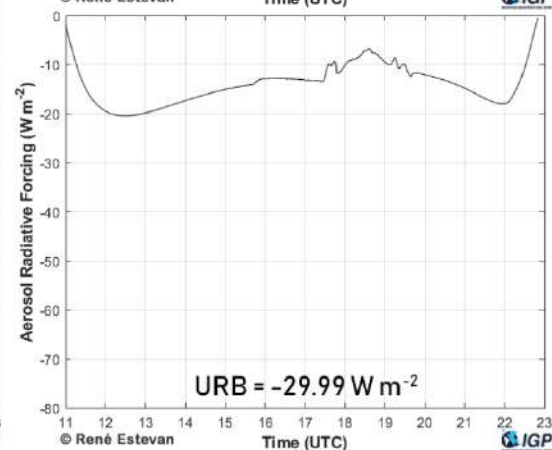
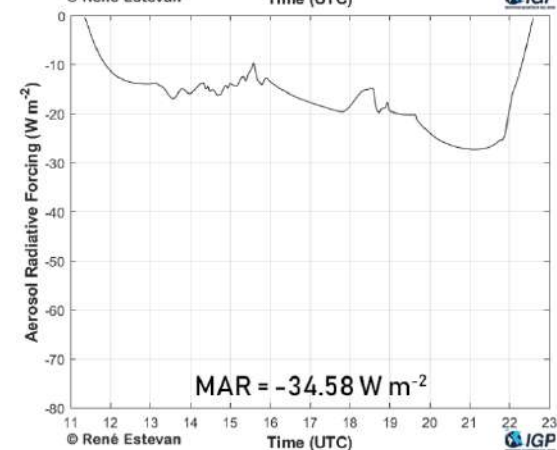
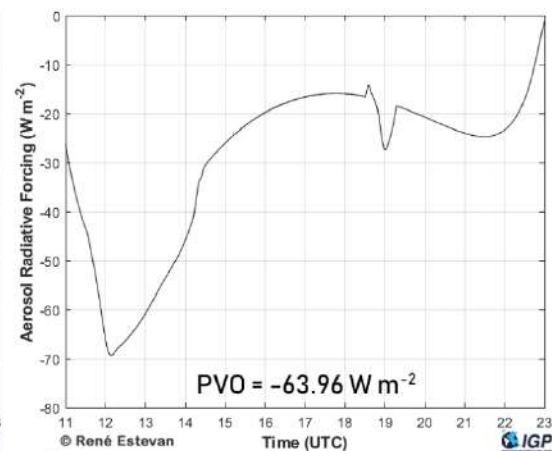
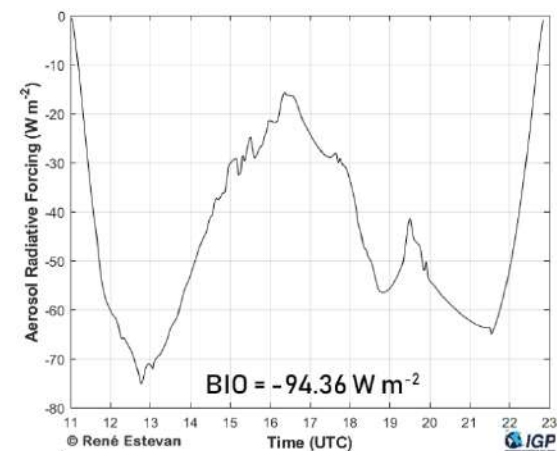
$$FRA = (F \downarrow_{AER} - F \uparrow_{AER}) - (F \downarrow_{CC} - F \uparrow_{CC})$$

Cálculos de irradiancias para Cielo Claro y con Aerosoles



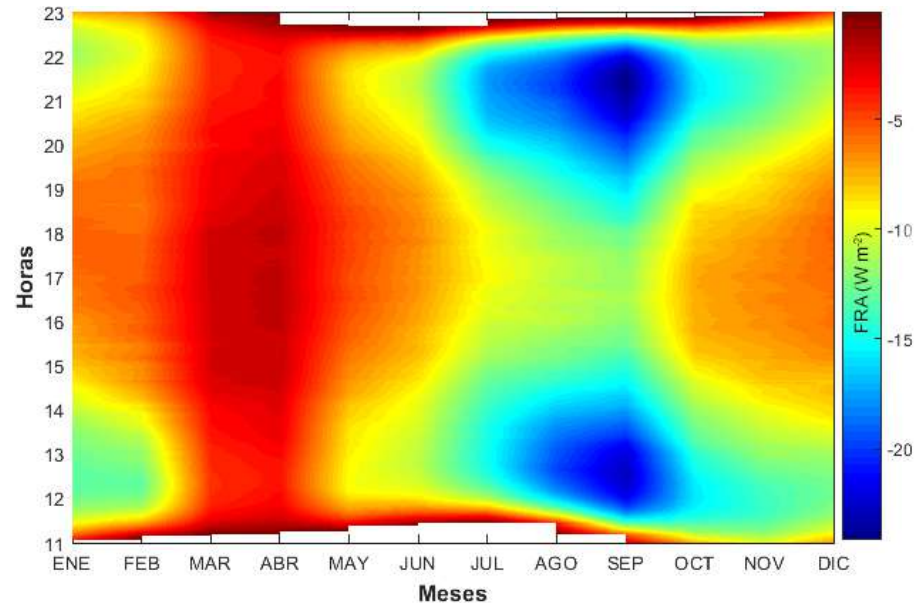
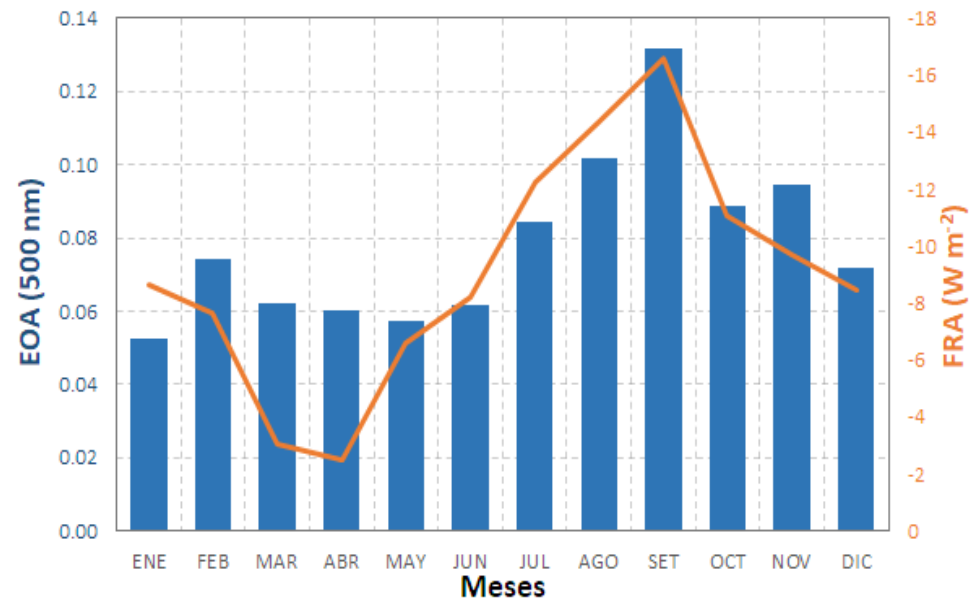
Tipos	Fecha	Hora	EOA _{máximo} (440 nm)	AE (440-870 nm)	FRA _{srf} (W m^{-2})
BIO	14-09-2016	11:44:31	0.872	1.662	-94.36
PVO	21-11-2017	12:06:05	0.594	0.342	-63.96
MAR	29-05-2015	18:23:18	0.140	0.528	-34.58
URB	24-09-2015	17:48:19	0.137	2.164	-29.99

Forzamiento Radiativo por Aerosoles

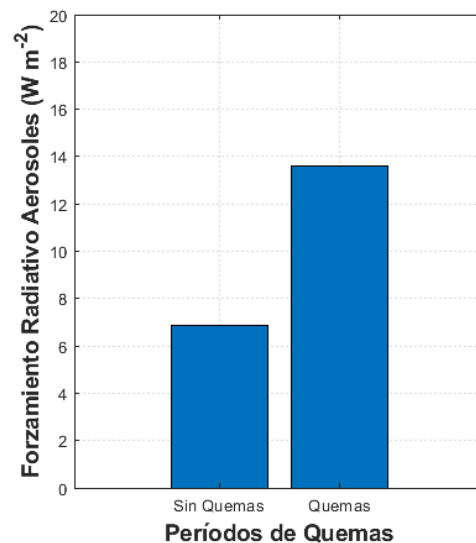
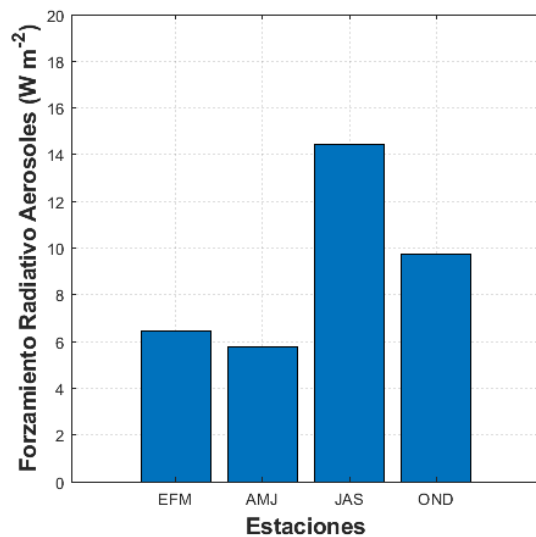


Tipos	Fecha	Hora	EOA _{máximo} (440 nm)	AE (440-870 nm)	FRA _{srf} (W m^{-2})
BIO	14-09-2016	11:44:31	0.872	1.662	-94.36
PVO	21-11-2017	12:06:05	0.594	0.342	-63.96
MAR	29-05-2015	18:23:18	0.140	0.528	-34.58
URB	24-09-2015	17:48:19	0.137	2.164	-29.99

Forzamiento Radiativo por Aerosoles



Forzamiento Radiativo por Aerosoles





Polvo

Carbono negro y orgánico

Sulfatos

Sal Marina