



# **“Los aerosoles atmosféricos y el vapor de agua en la fotometría solar”**

**Dra Victoria E. Cachorro**

**Grupo de Optica Atmosférica**

**Universidad de Valladolid, España**

# AEROSOLIOS O MATERIAL PARTICULADO

## ¿Que son los “Aerosoles Atmosféricos”?

Conjunto de partículas sólidas o líquidas (microscópicas) en suspensión en un medio gaseoso (atmósfera) que permiten su observación y medida (Definición Wikele & Baron, 1993)

-Son un componente atmosférico minoritario

### GASES VARIABLES

Vapor de agua: 0.01-4%

CO<sub>2</sub>: 0.035%, 350 ppm

Ozono: 0.04 ppm

Otros gases (gases traza, ppb)

### 3. LAS PARTICULAS O AEROSOLIOS

Naturales y antropogénicos

# AEROSOLES O MATERIAL PARTICULADO

## Clasificación de los aerosoles atmosféricos

Por su origen o fuente

- Aerosoles Naturales
- Aerosoles Antrópicos



## La contaminación en los Polos

El fenómeno del "Arctic haze" (Neblina ártica de primavera)  
Episodio en NyÅlesund en Sbalvard (Mayo 2-3, 2006)



May 2, 2006



May 8, 2006

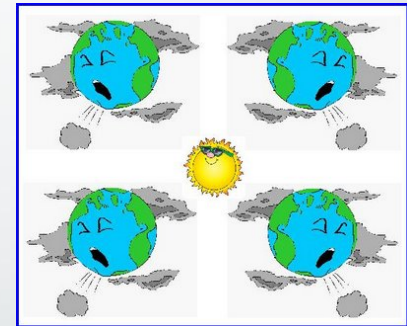
Ny Ålesund, view  
from the Zeppelin  
station

# AEROSOLES O MATERIAL PARTICULADO: PROPIEDADES

¿Porqué estudiar los aerosoles?

## Son un contaminante atmosférico

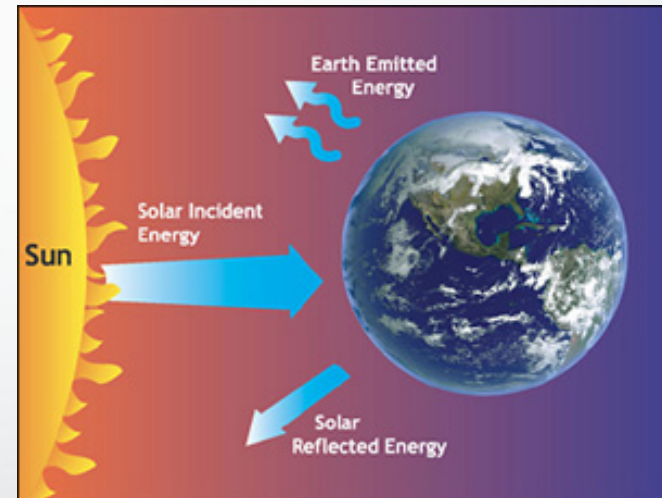
- **1. Impacto en Medio Ambiente: La Calidad del Aire**
  - Efecto adverso en la Salud humana
  - Afecta a la Visibilidad (Tráfico en carretera, aviación, etc...)
  - Química Atmosférica: reacciones homog. and heterogenous
  - Otros aspectos de la calidad de vida
- **2 Otros impactos en el Medio Ambiente**
  - Deposición seca y deposición húmeda
    - Fertilización del océano
    - Reducción del albedo de las zonas árticas
  - Efectos sobre la vegetación: deposición acida
  - Efectos sobre los materiales: Edificios del patrimonio cultural, Plásticos...
- **3. Impacto en el Clima del Planeta**: Efecto radiativo o climático de los aerosoles



# El balance radiativo de la Tierra

- Toda la energía que recibe la Tierra viene del Sol, es la Energía radiante o radiativa, cuyo flujo  $F$  lo medimos en  $W/m^2$
- La Tierra alcanza un equilibrio radiativo cuando la energía recibida equipara la radiación reflejada y emitida por ella. Es lo que se denomina **Balance radiativo**

$$\begin{aligned} \text{Balance Total Neto de Energía} &= 0 \\ &= (\text{Energía radiante recibida}) - \\ &(\text{Energía radiada al espacio}) \end{aligned}$$



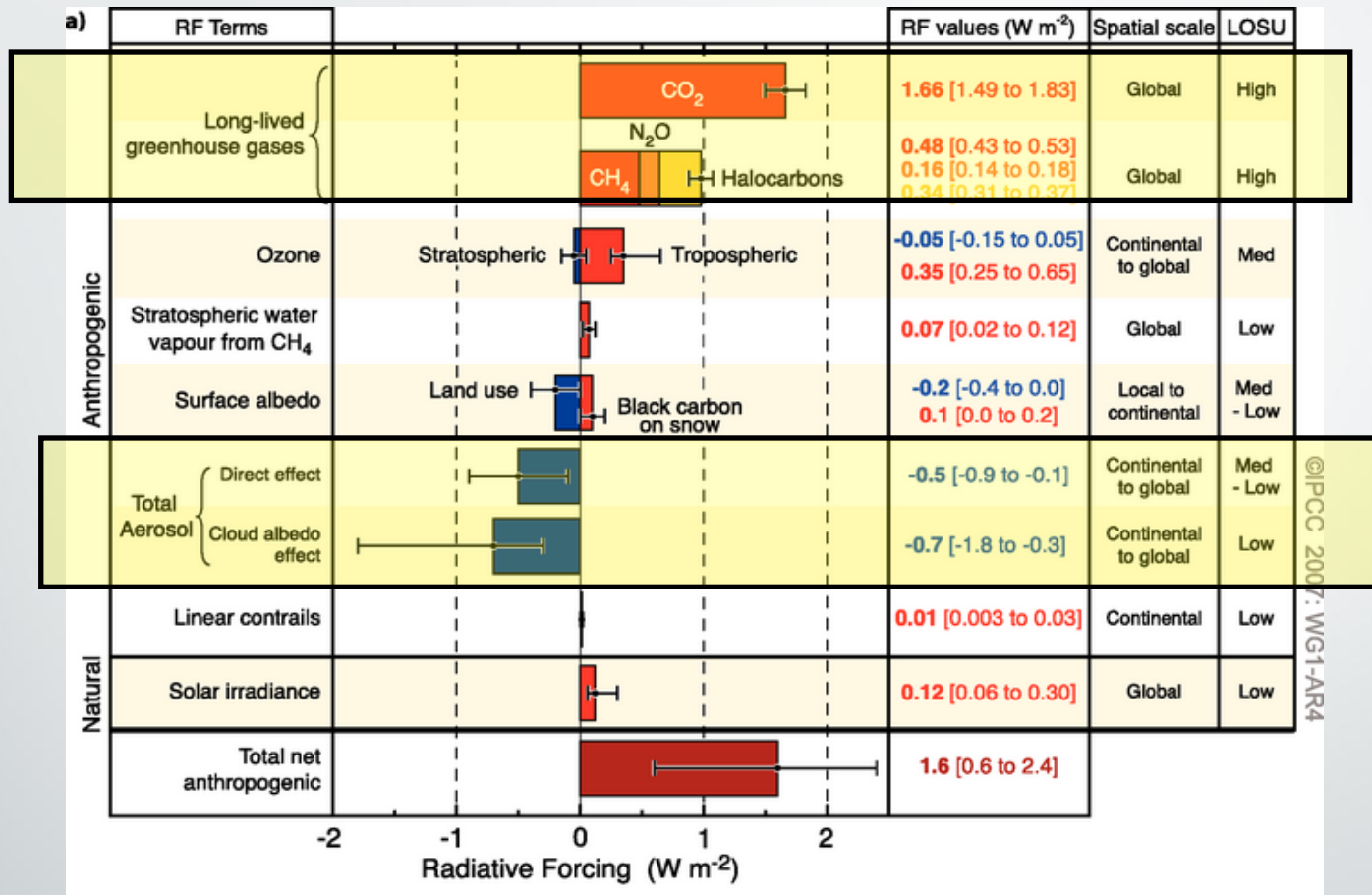
- Que es el “Forcing Radiativo”  $\Delta F$

Al cambio en el flujo neto en el límite de la atmósfera debido a una perturbación que tiene la capacidad de modificar la temperatura global del Planeta. Este forcing puede ser natural o antrópico

$\Delta F > 0$  **Calentamiento**

$\Delta F < 0$  **Enfriamiento**

# “Forcing” radiativo respecto de 1750 (IPCC 2007)



- 1. La alta variabilidad espacial y temporal de sus propiedades
- 2. Una correcta evaluación de las propiedades absorbentes
- 3. La complejidad de los procesos de interacción aerosol-nubes

# El “Forcing” radiativo de los aerosoles

Como los gases de efecto invernadero, los aerosoles interactúan con la radiación solar y terrestre y producen un forzamiento.

- **Efectos Directos (fenómenos de reflexión y absorción)**
  - **ARI (IPCC 2013)**

- Los aerosoles **reflejan o dispersan la luz solar** (sulfatos and nitratos)  
--> **enfrian** el sistema Tierra-atmósfera
- Otros aerosoles **absorben la luz solar** (carbonaceos= “soot”)  
--> **calientan** la atmósfera y enfrían la superficie de la Tierra

- **Efectos Indirectos o ACI(IPCC 2013): Modifican las propiedades de la nubes y por tanto su reflectividad**

Los aerosoles actúan como núcleos de condensación de las gotas de las nubes y de los núcleos de hielo --> modifican el tamaño de las gotas y las propiedades de las nubes y por tanto su reflectividad o albedo, así como la precipitación



## Las Técnicas de medida de los aerosoles

- “in situ”.
  - Redes de Calidad el aire
  - Estudios científicos “in situ”
- Detección Remota: Activas y Pasivas
- Pasiva: La Fotometría solar
- Aplicación de la Fotometría solar en la investigación sobre los aerosoles

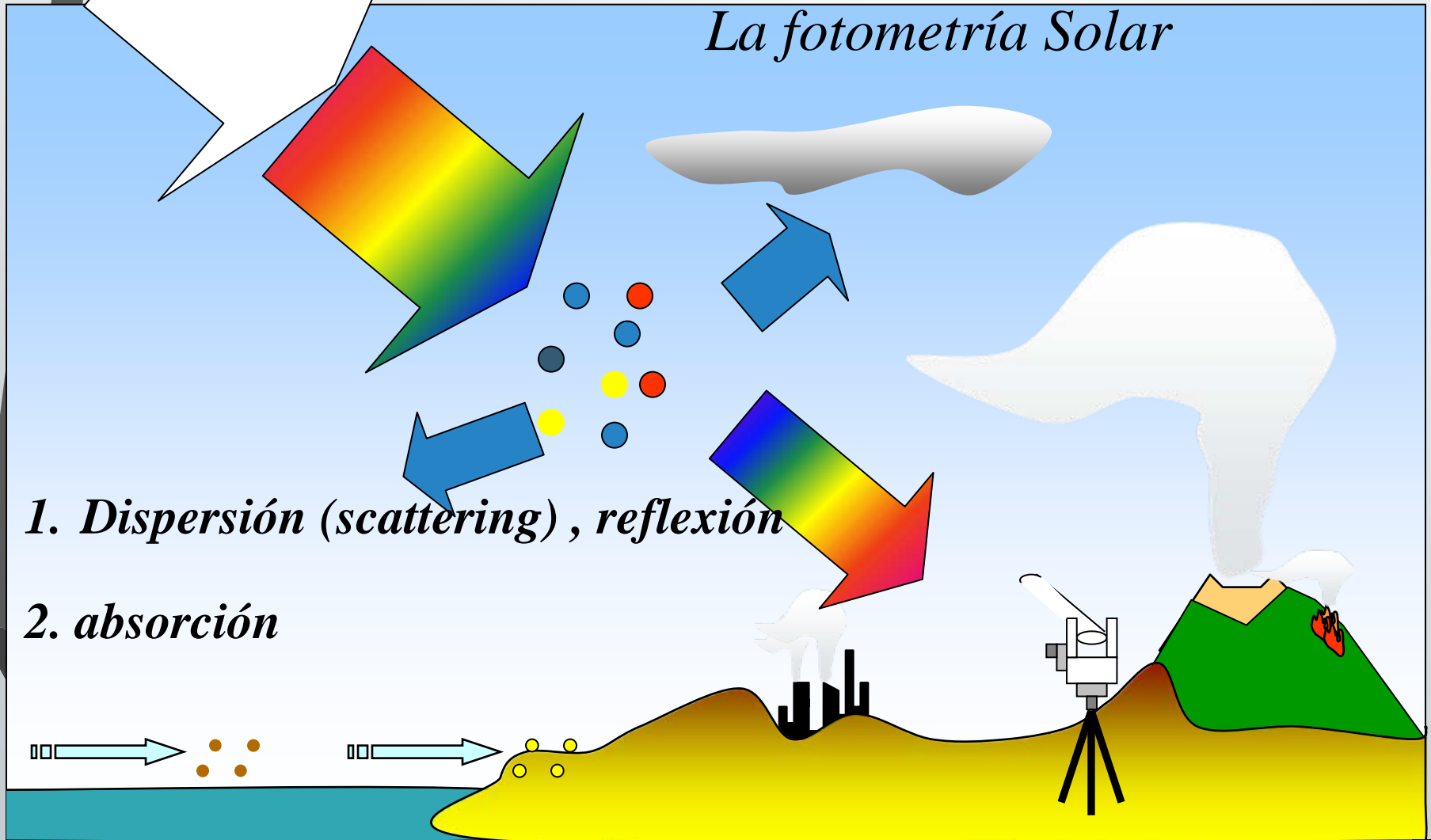
# *¿Cómo podemos estudiar a los aerosoles?*

*Por su interacción con la radiación*

## *La fotometría Solar*

*1. Dispersión (scattering), reflexión*

*2. absorción*



# ¿Como medir las propiedades aerosoles?

## Dos grandes tecnicas: "In situ" y por "Detección Remota"

- **Ground-based stations**

(remote sensing and in situ)



- **Earth Observation Satellites**  
(Only remote sensing)



- **Instrumented aircraft**

(remote sensing and in situ)

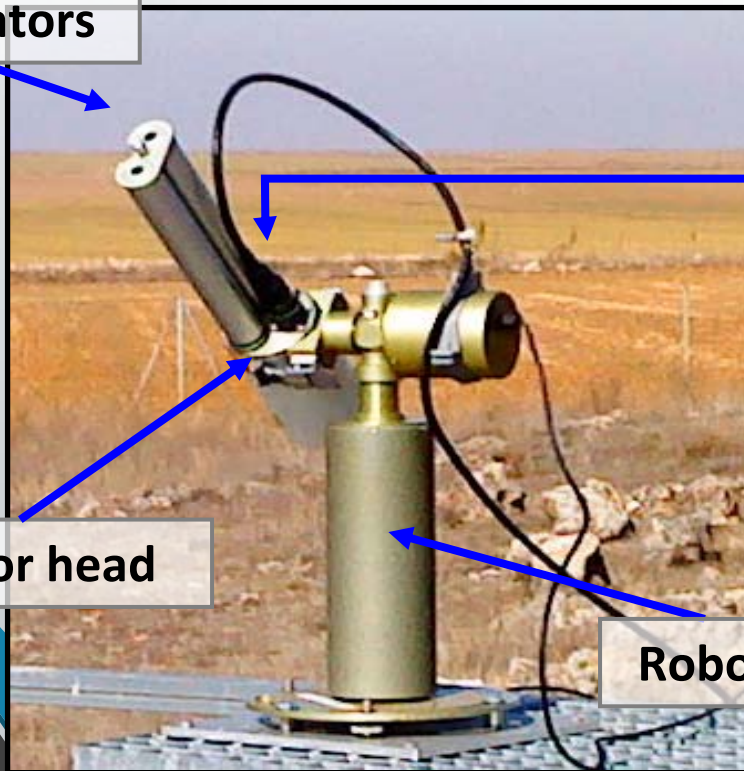


# AERONET – sun-photometer CIMEL-318

Radiometro o fotómetro solar automático

- Desarrollado y comercializado por la Compañía CIMEL-Electronic
- Diferentes modelos: estandar, polarizado (870 nm), extendido (1640 nm)
- El modelo estandar incluye 8 filtros interferenciales o canales

Collimators



Sensor head

Robot



Filter Wheel

$\lambda$  (nm)

340

380

440

500

675

870

**936**

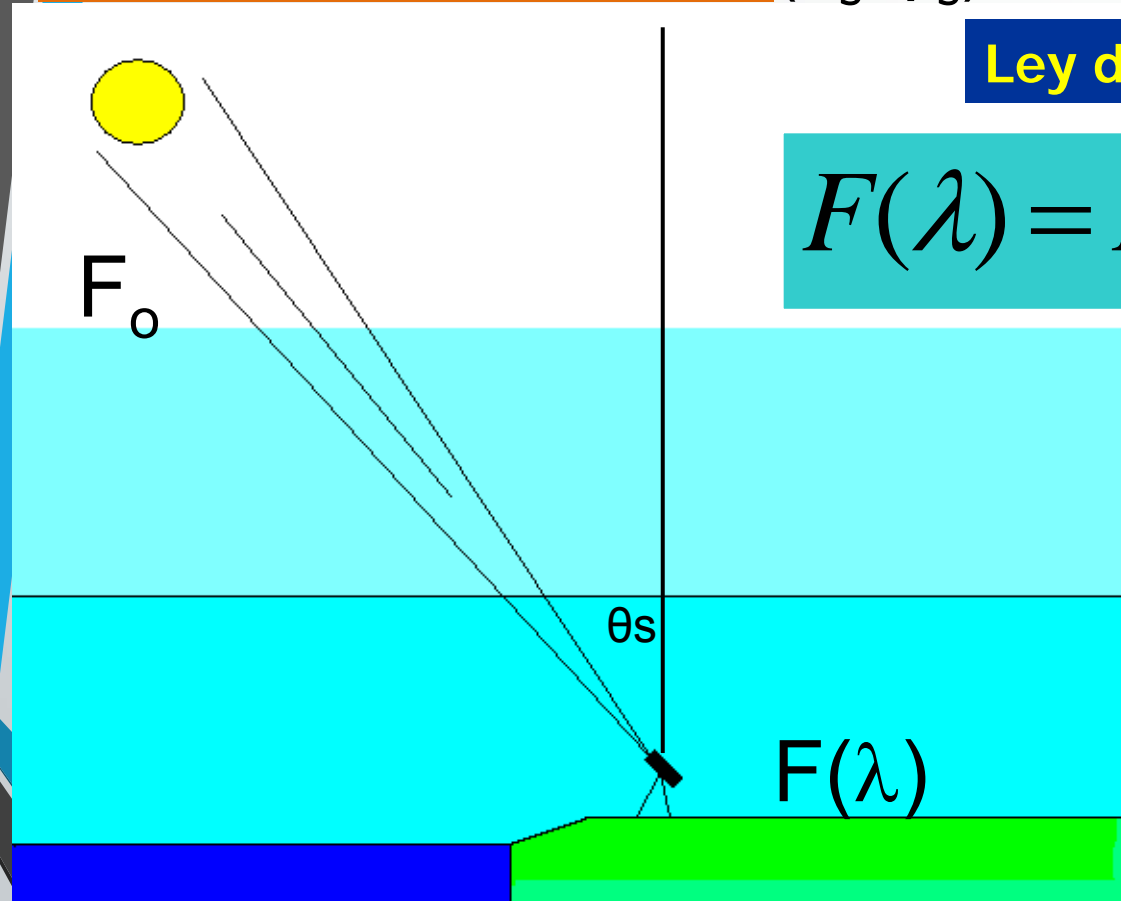
1020

1640 (extended)

# Medida del Flujo Directo de Sol

Medias espectrales, dependen de la longitud de onda  $\lambda$

Apuntamiento al sol ( $\theta_s, \varphi_s$ )



**Ley de Beer-Bouguer-Lambert:**

$$F(\lambda) = F_0(\lambda) \cdot e^{-\tau(\lambda) \cdot m}$$

$$\tau = -\frac{1}{m} \ln\left(\frac{F_0}{F}\right)$$

$$m = \frac{1}{\cos \theta}$$

$$\tau_a = \tau - \tau_R - \tau_g$$

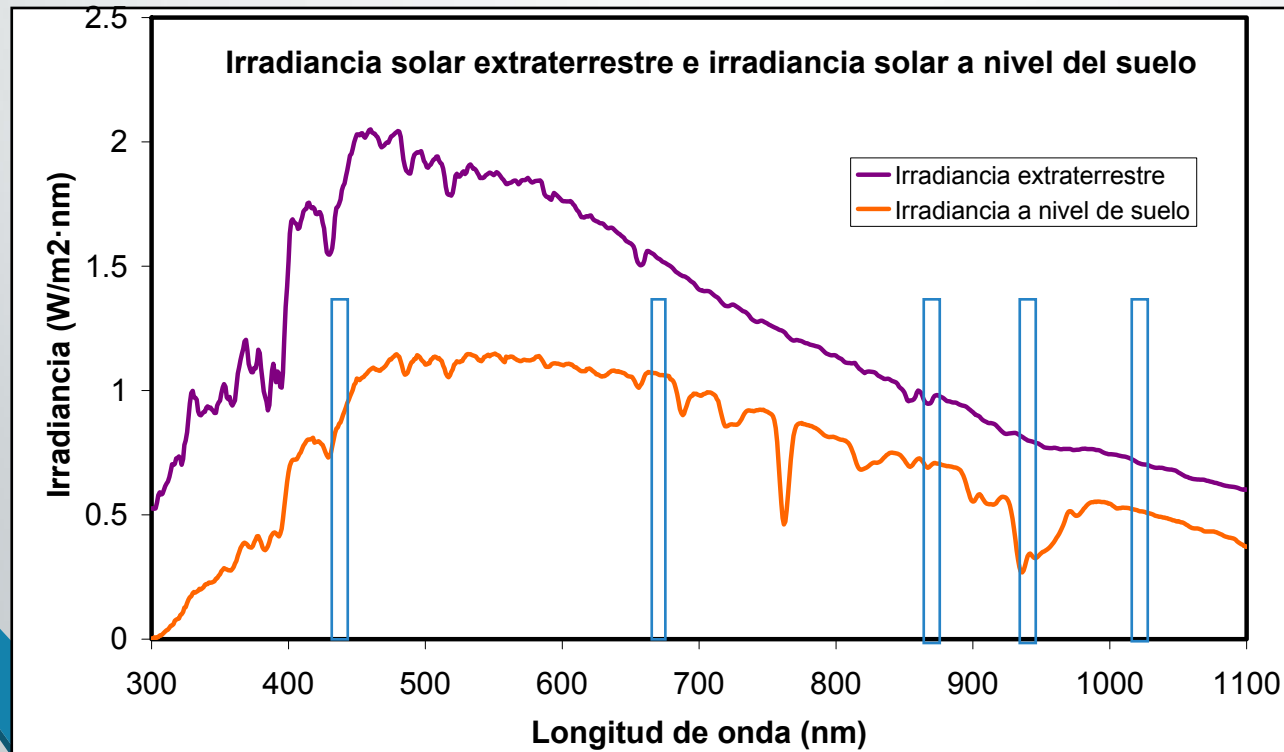
# DETERMINACION DEL ESPESOR OPTICO DEL AEROSOL

Parámetro que indica la carga del aerosol en la vertical de la atmósfera. Es como un índice de turbiedad

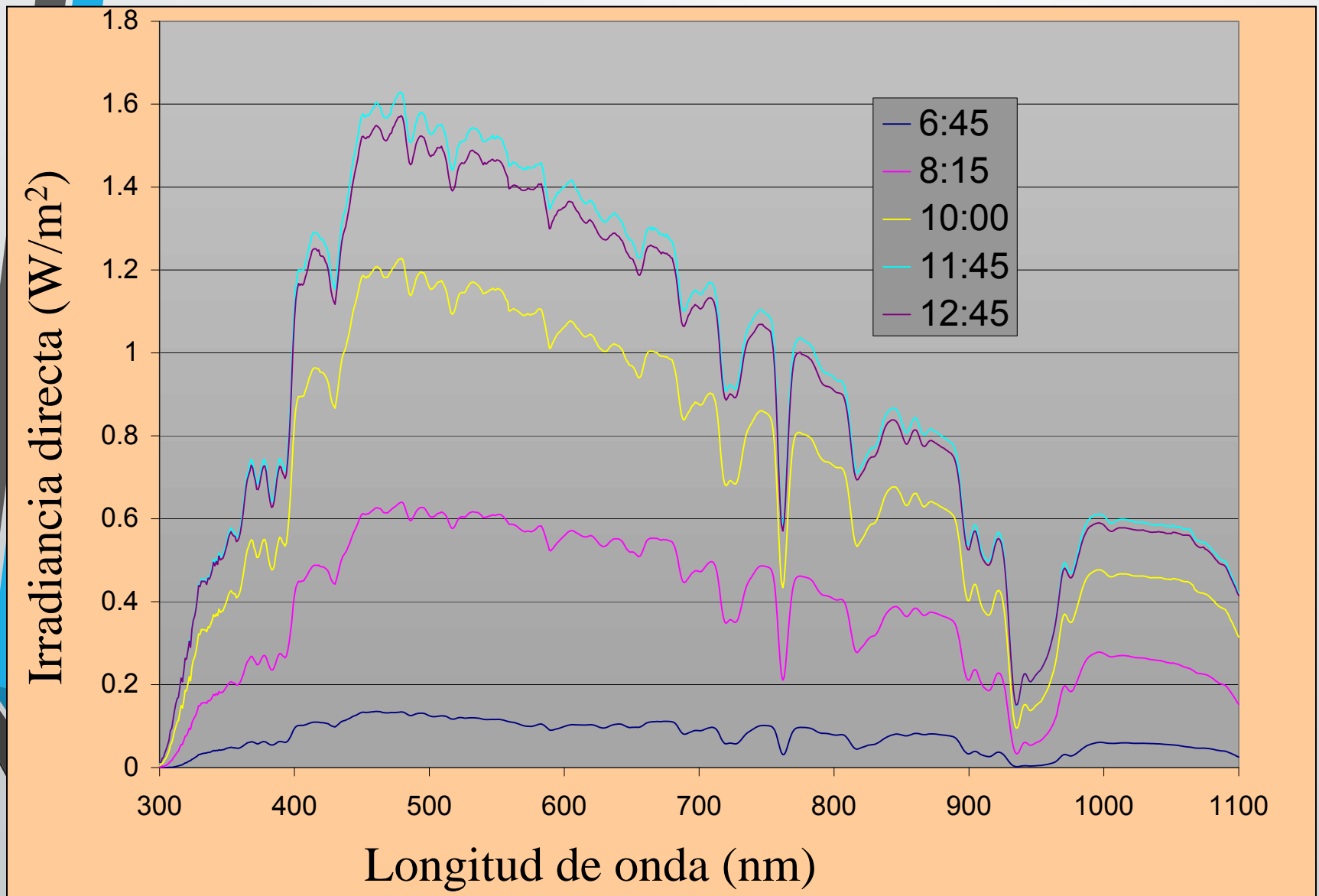
$$\tau_a = \tau - \tau_R - \tau_g$$

Aerosol Optical Depth, AOD= Espesor óptico del aerosol

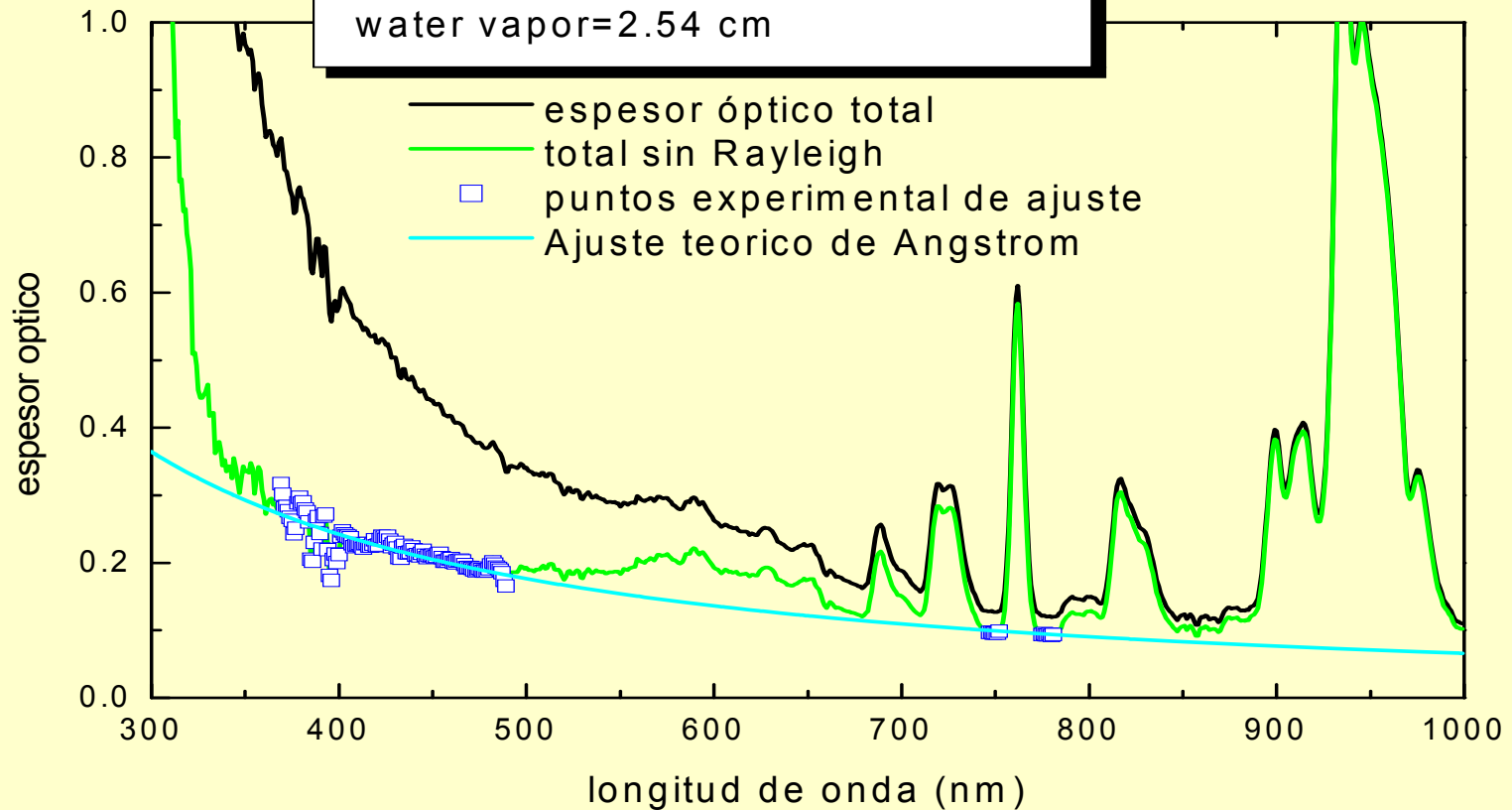
Depende de la longitud de onda de la radiación



# Lo que se mide: irradiancia directa



N=246 (3 Sep 1999)  
GMT=14:16 SZA=37.85 m=1.26  
 $\alpha=1.42$   $\beta=0.067$   $O_3=305$  D.U.  
water vapor=2.54 cm





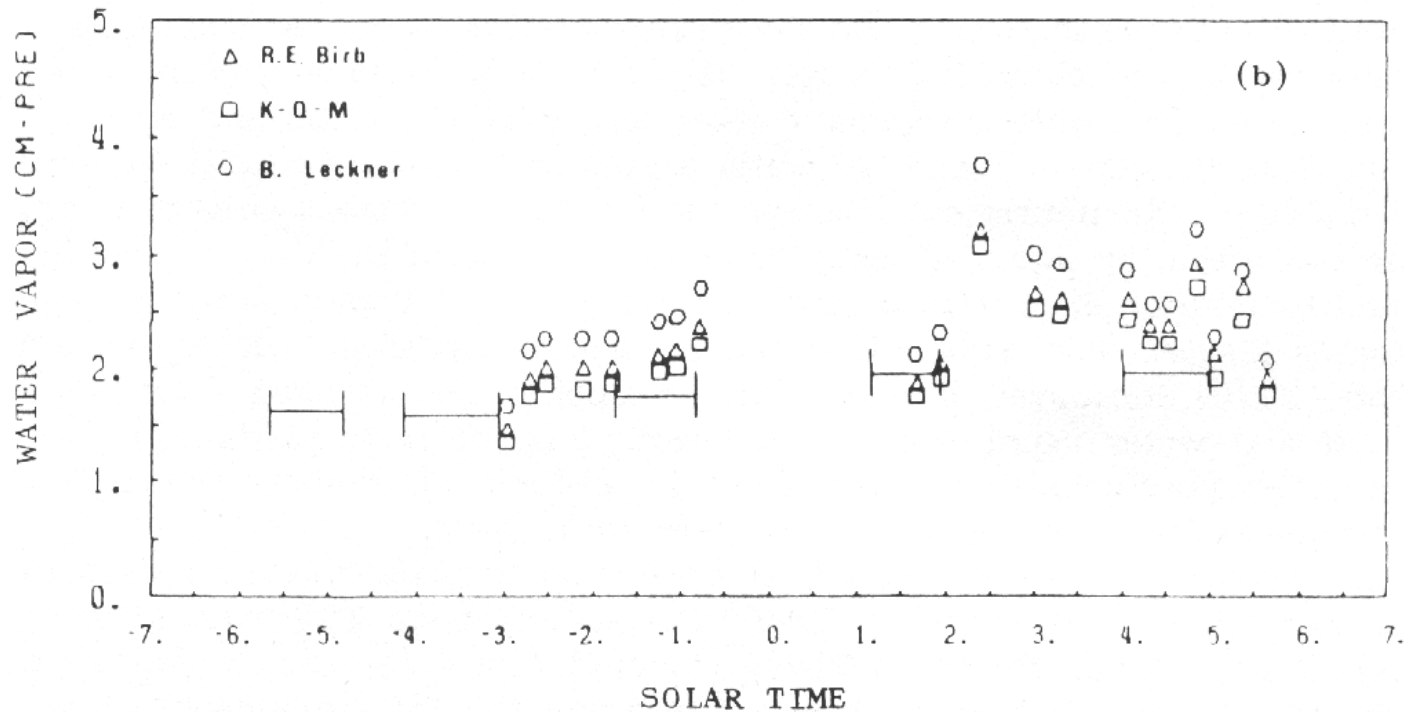
# El estudio del vapor de agua precipitable o en columna PWV

*Atmospheric Research*, 20 (1986) 67—74

67

Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam — Printed in The Netherlands

## DETERMINATION OF TOTAL VERTICAL WATER VAPOR IN THE ATMOSPHERE

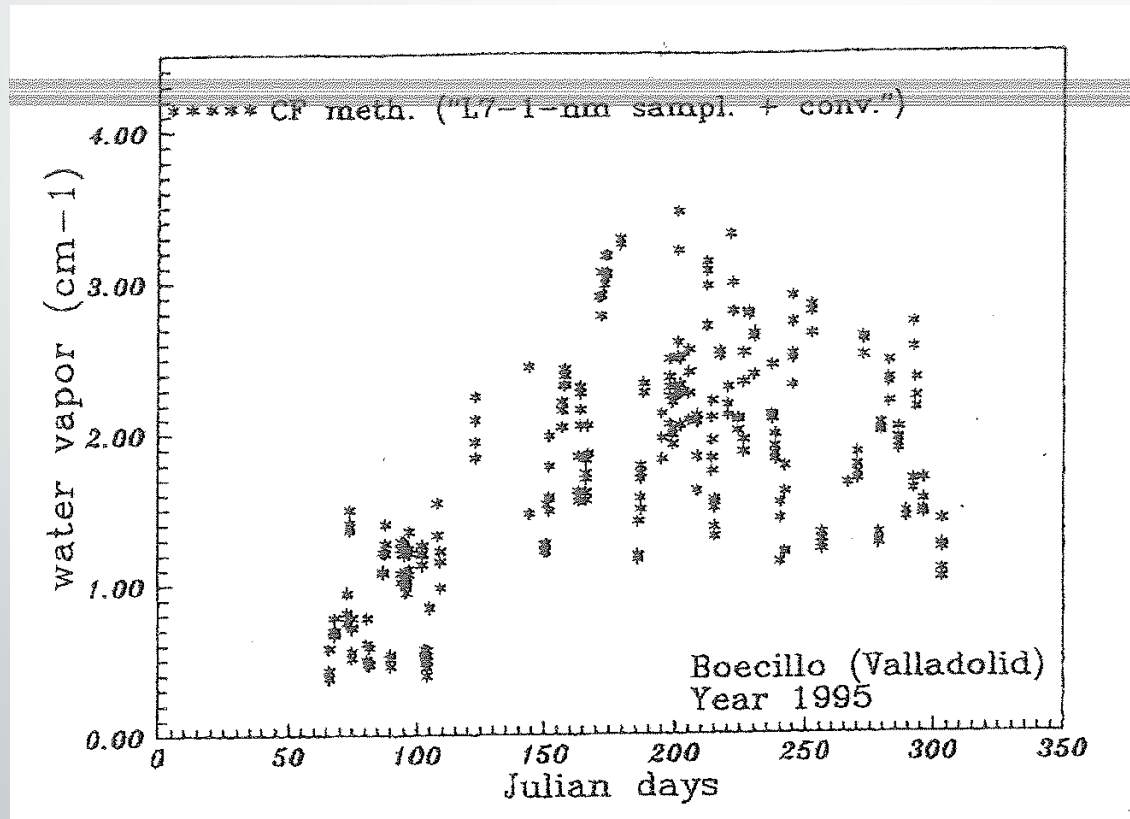


# Determination of the atmospheric-water-vapor content in the 940-nm absorption band by use of moderate spectral-resolution measurements of direct solar irradiance

Applied Optics 37, 4678-4689.

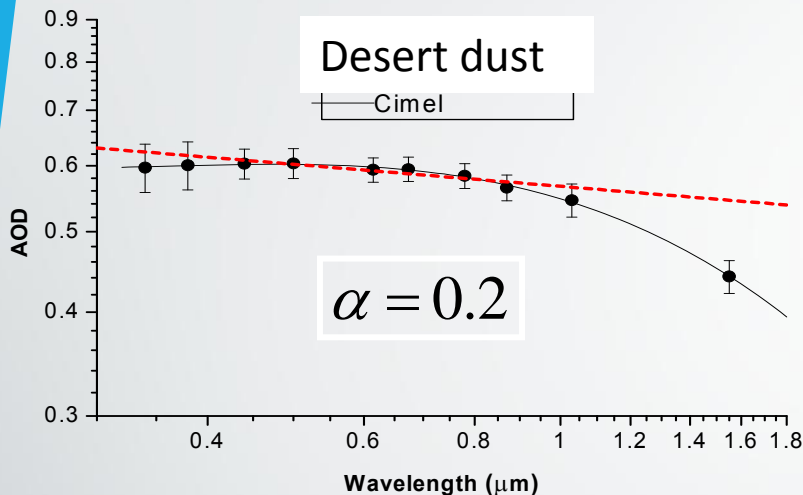
1998

Victoria E. Cachorro, Pilar Utrillas, Ricardo Vergaz, Plinio Durán, Angel M. de Frutos, and Jose A. Martinez-Lozano



# Determinación del parámetro alfa de Angstrom

El parámetro alfa de Angstrom cuantifica el tamaño medio de la distribución de aerosoles



Ångström Formula

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

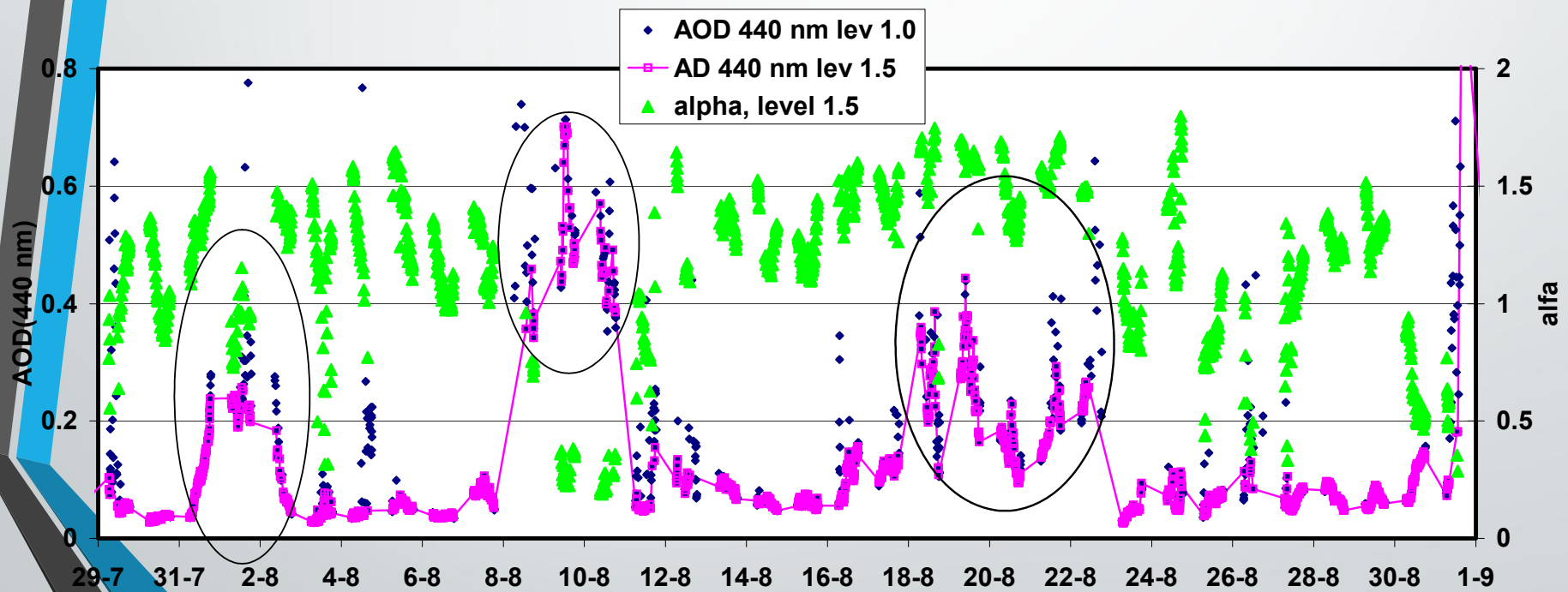
La formula de Angström formula expresa la dependencia del AOD con la longitud de onda

Rango de valores de 0- 2.5

valores pequeños de  $\alpha < 1$  ---> predominan partículas gordas  
valores altos  $\alpha > 1.4$  ---> partícula finas

# Caracterización: Evolución temporal de AOD-alpha

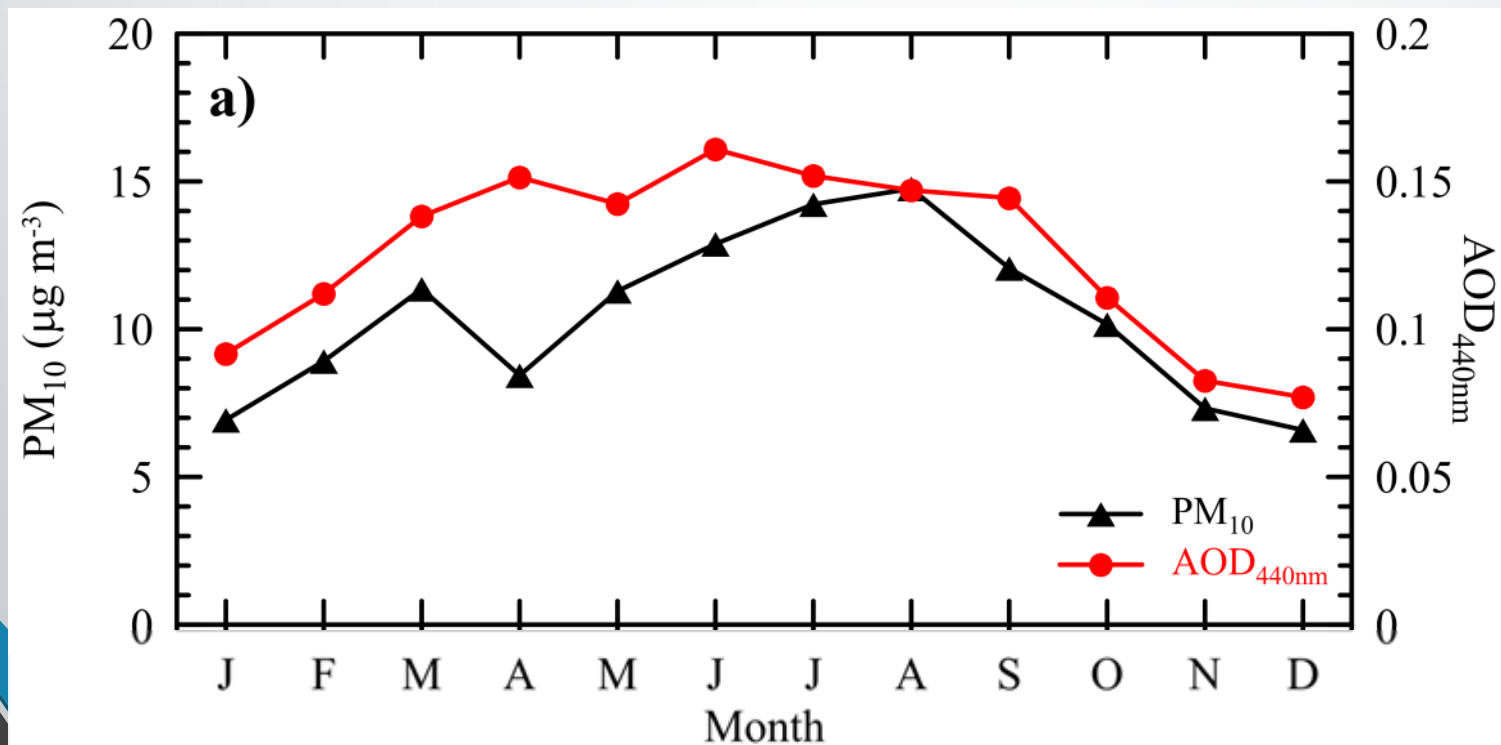
Agosto 2010 en la estación de Palencia, España



# Estudio de la caracterización de los aerosoles Hacia la Climatology del AOD y $PM_{10}$ 12 years (2003-2014) en Palencia-Peñausende

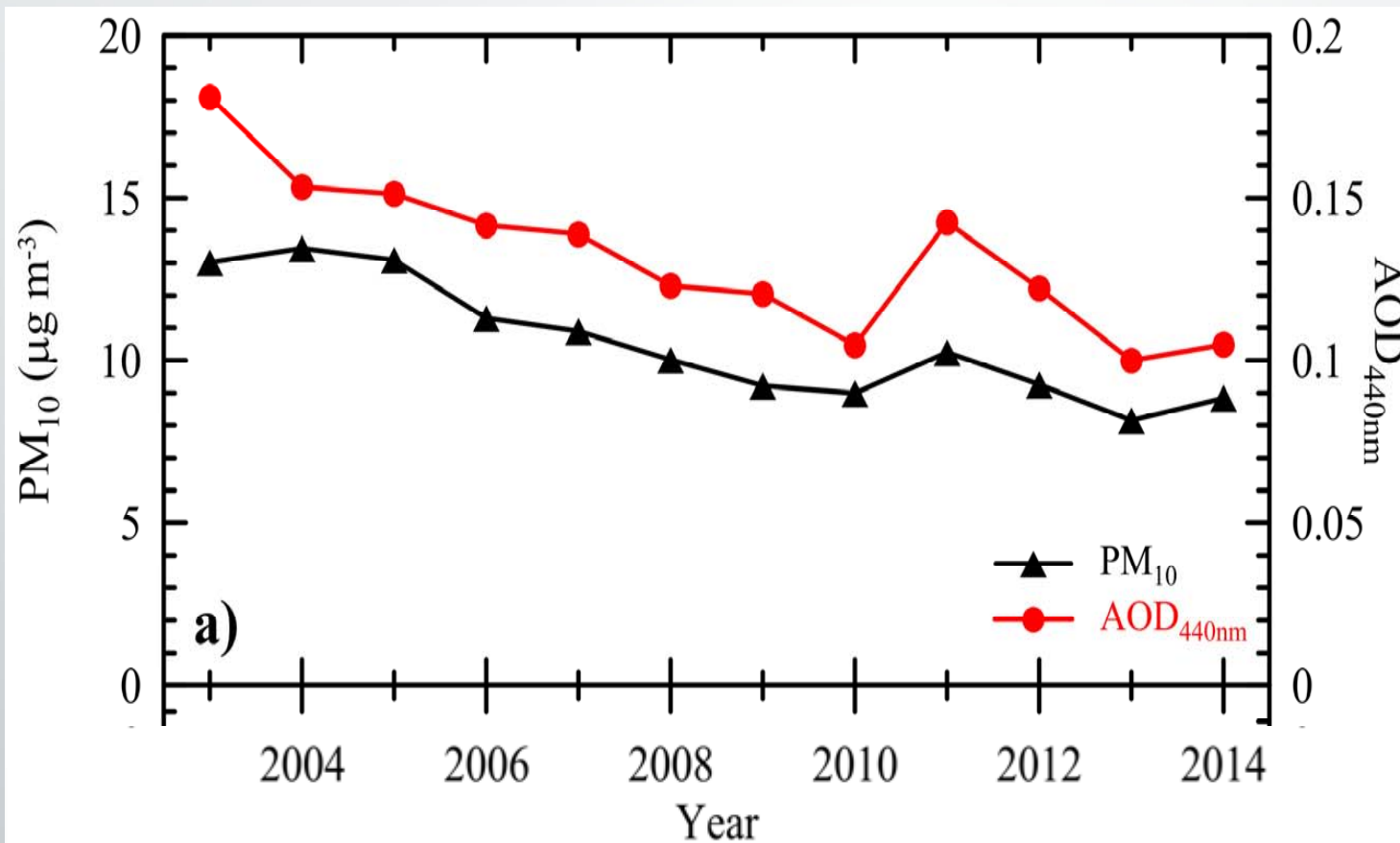
Palencia es una estación de la red RIMA-AERONET

Peñausende es una estación de la red EMEP

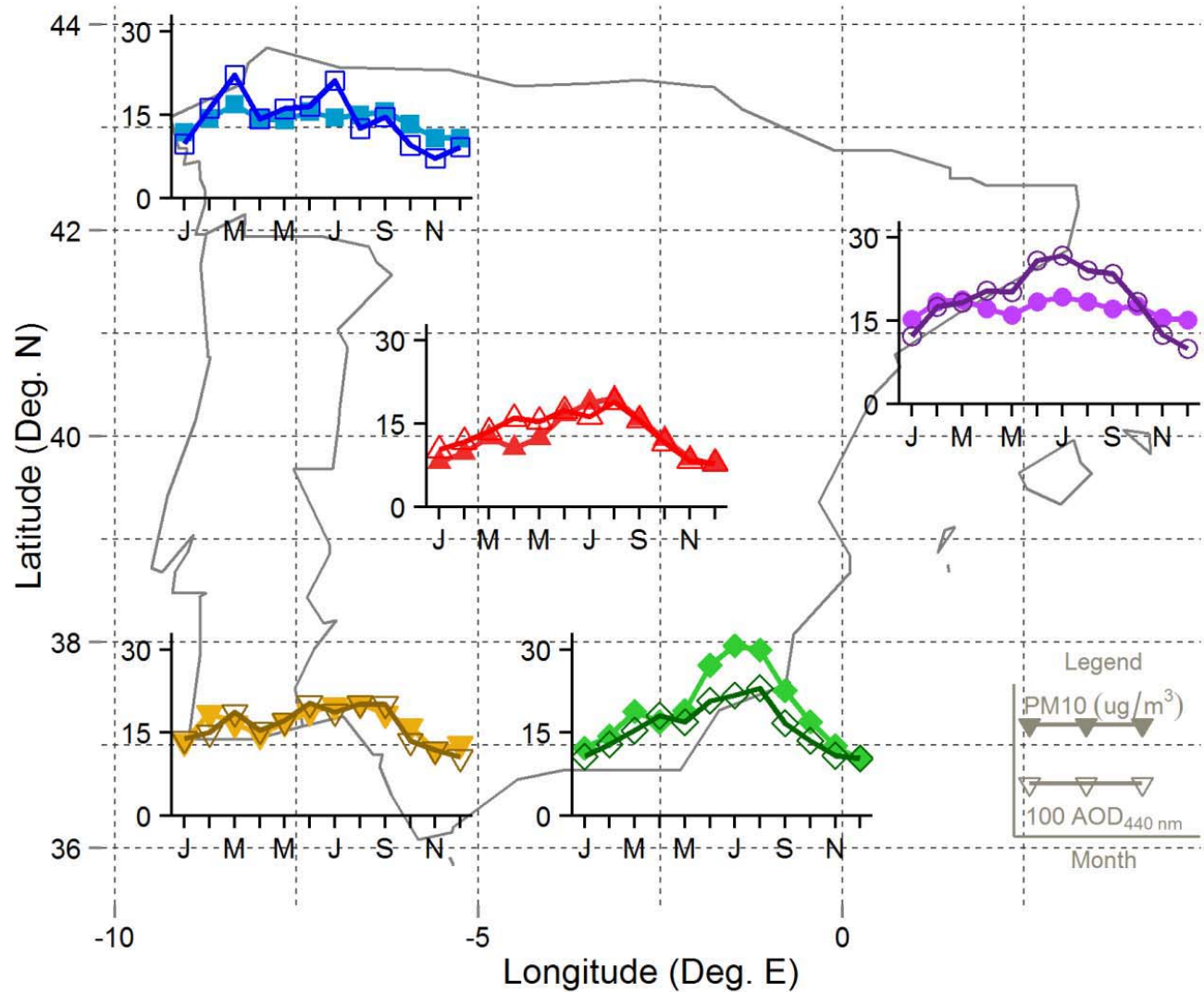
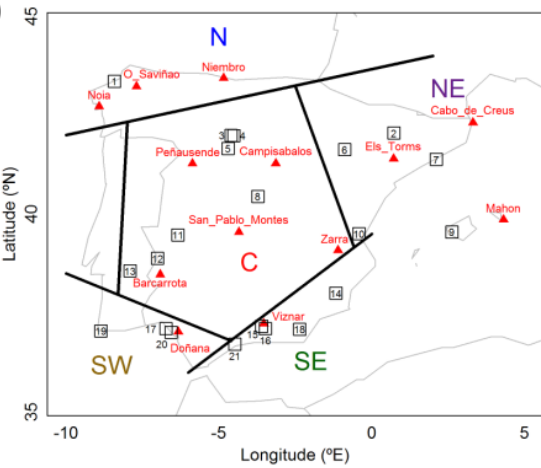


# Evolución multianual: 2003-2014: tendencias

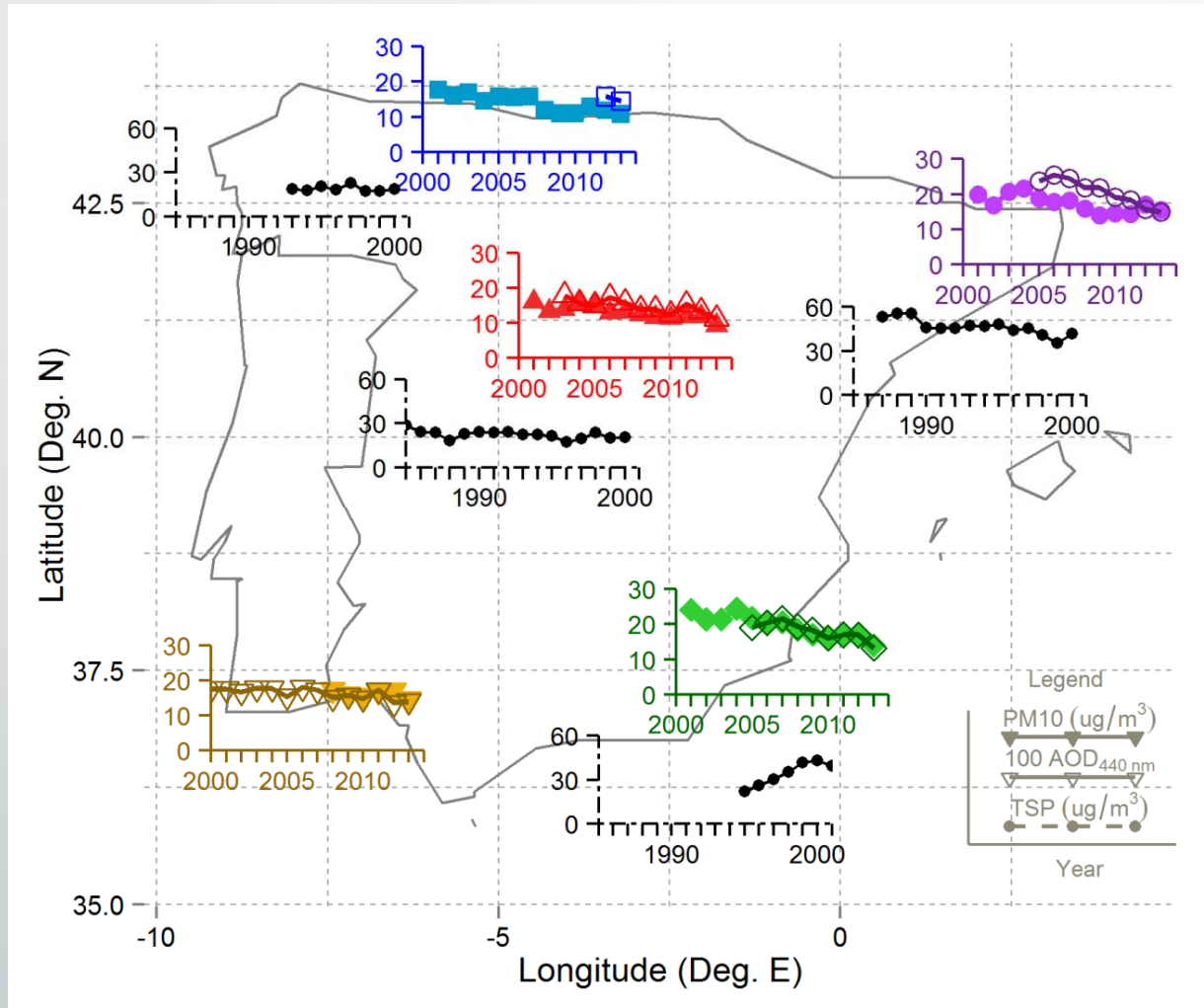
## 12 years (2003-2014) en Palencia-Peñausende



# Climatología Comparativa: AOD-PM<sub>10</sub>

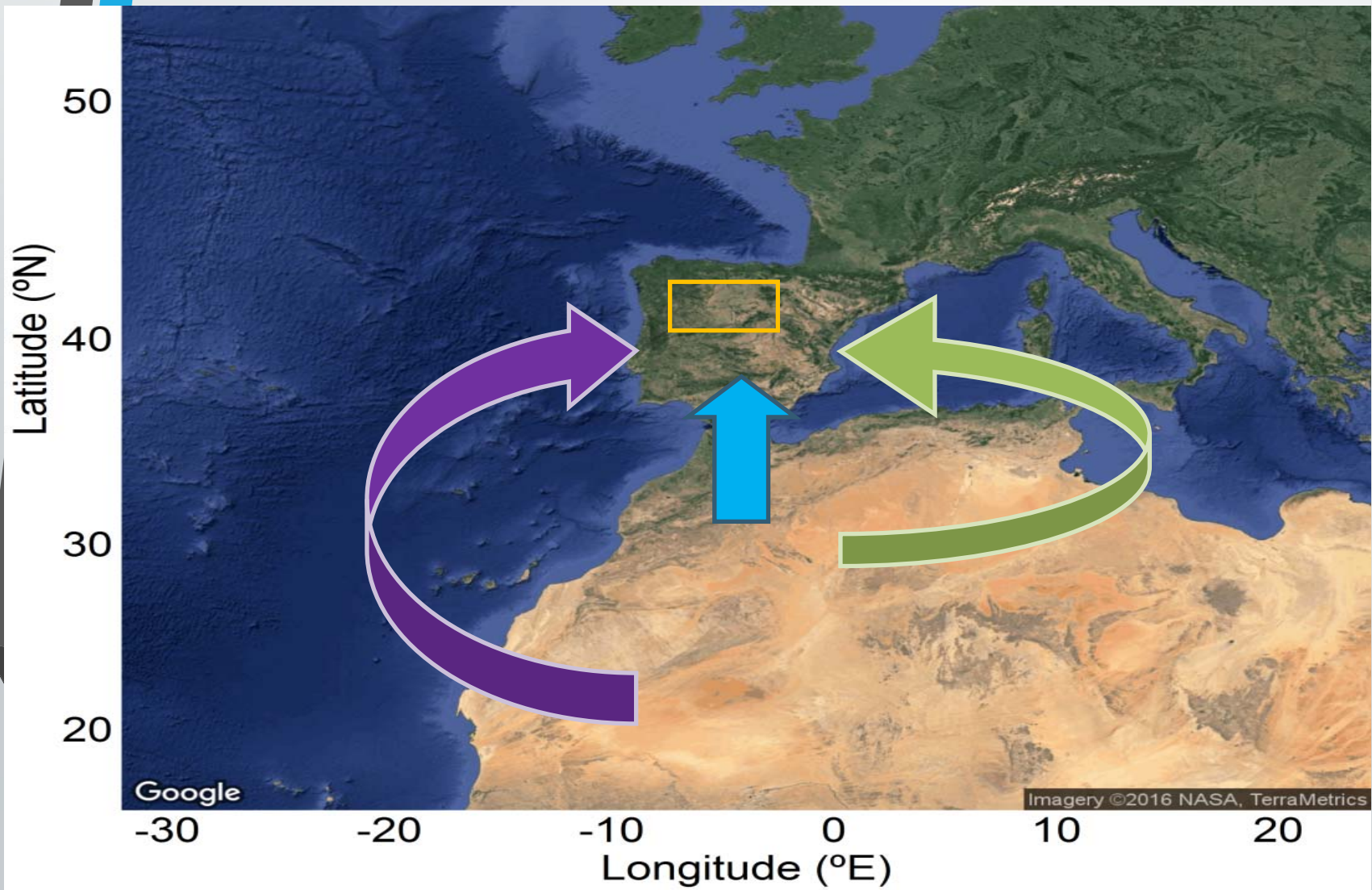


# Evolución Comparativa (Tendencias) AOD-PM<sub>10</sub> (2003-2014)



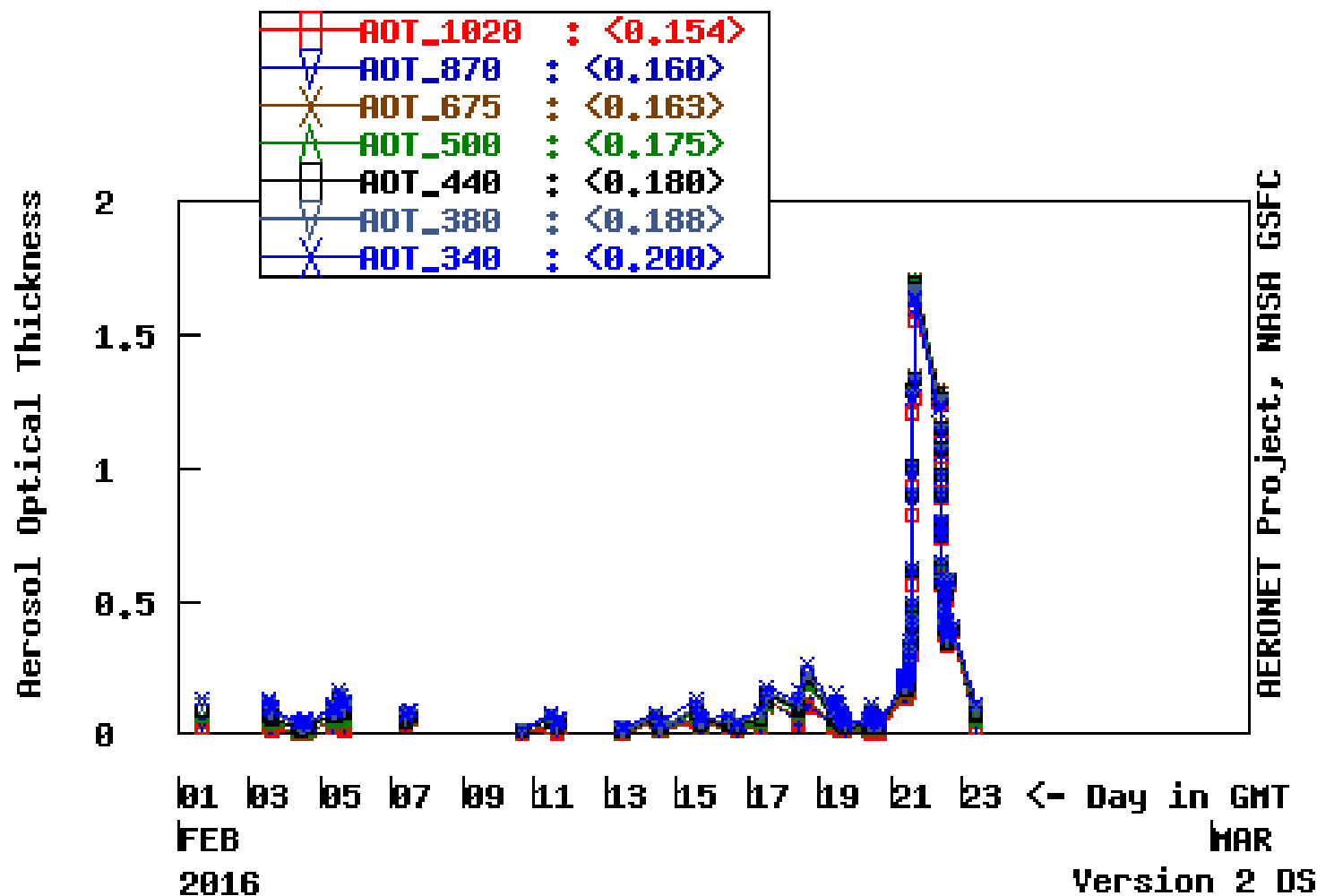


# Los aerosoles desérticos: Estudio de las intrusioniones de aerosoles desérticas en Castilla y León

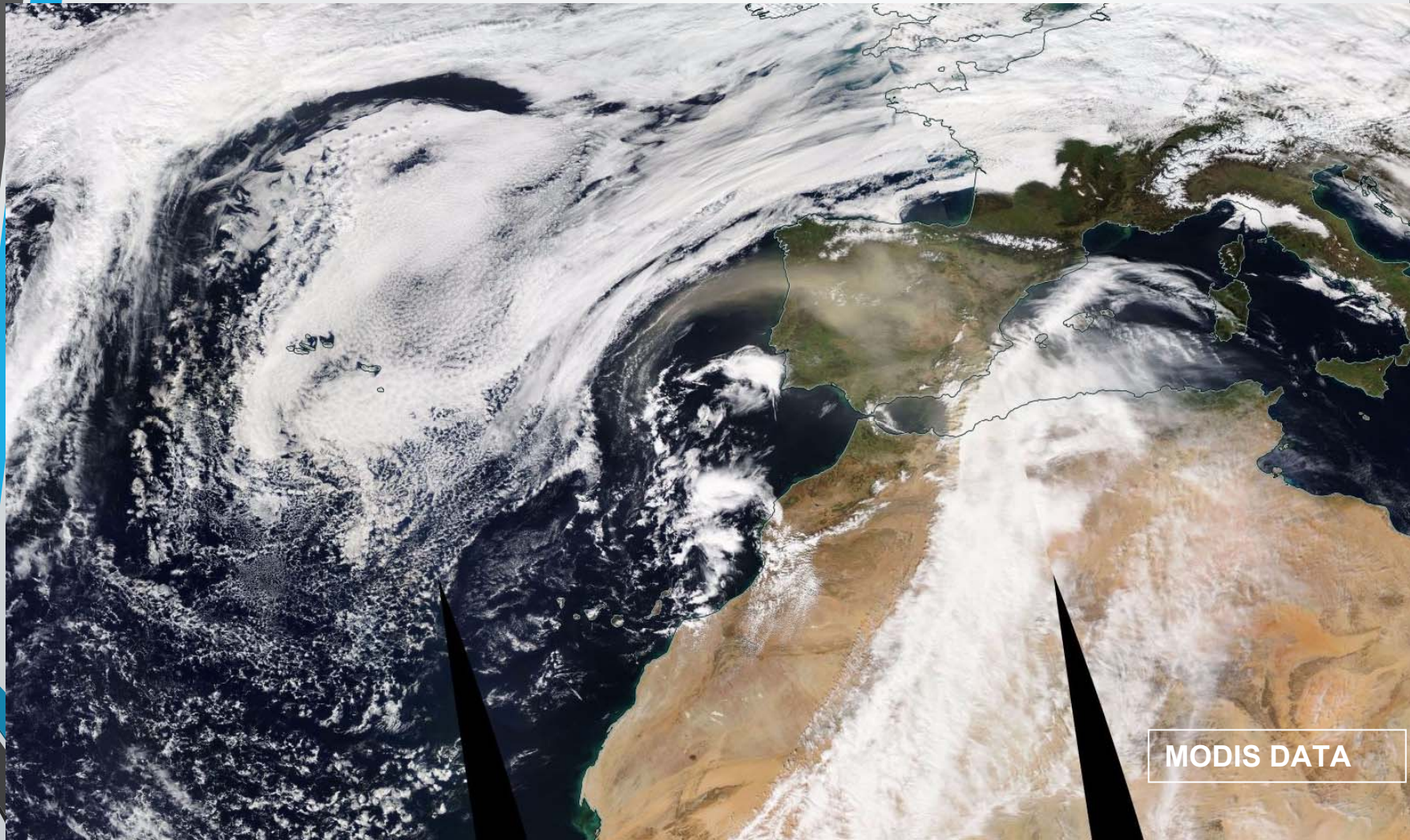


# El mayor evento desértico registrado sobre la IP (21-22 February, 2016), imagen RGB de MODIS

Palencia , N 41°59'20", W 04°30'57", Alt 750 m,  
PI : Victoria\_E.\_Cachorro\_Revilla, chiqui@goa.uva.es  
Level 1.5 AOT; Data from FEB 2016

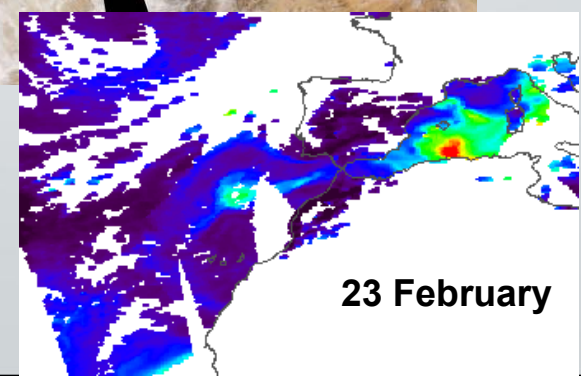
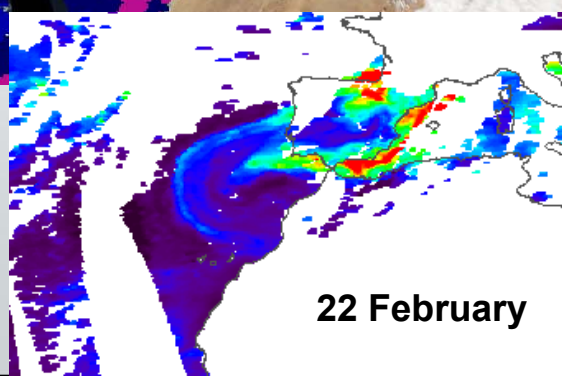
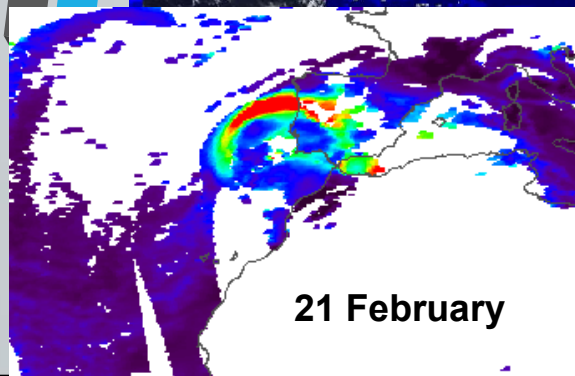
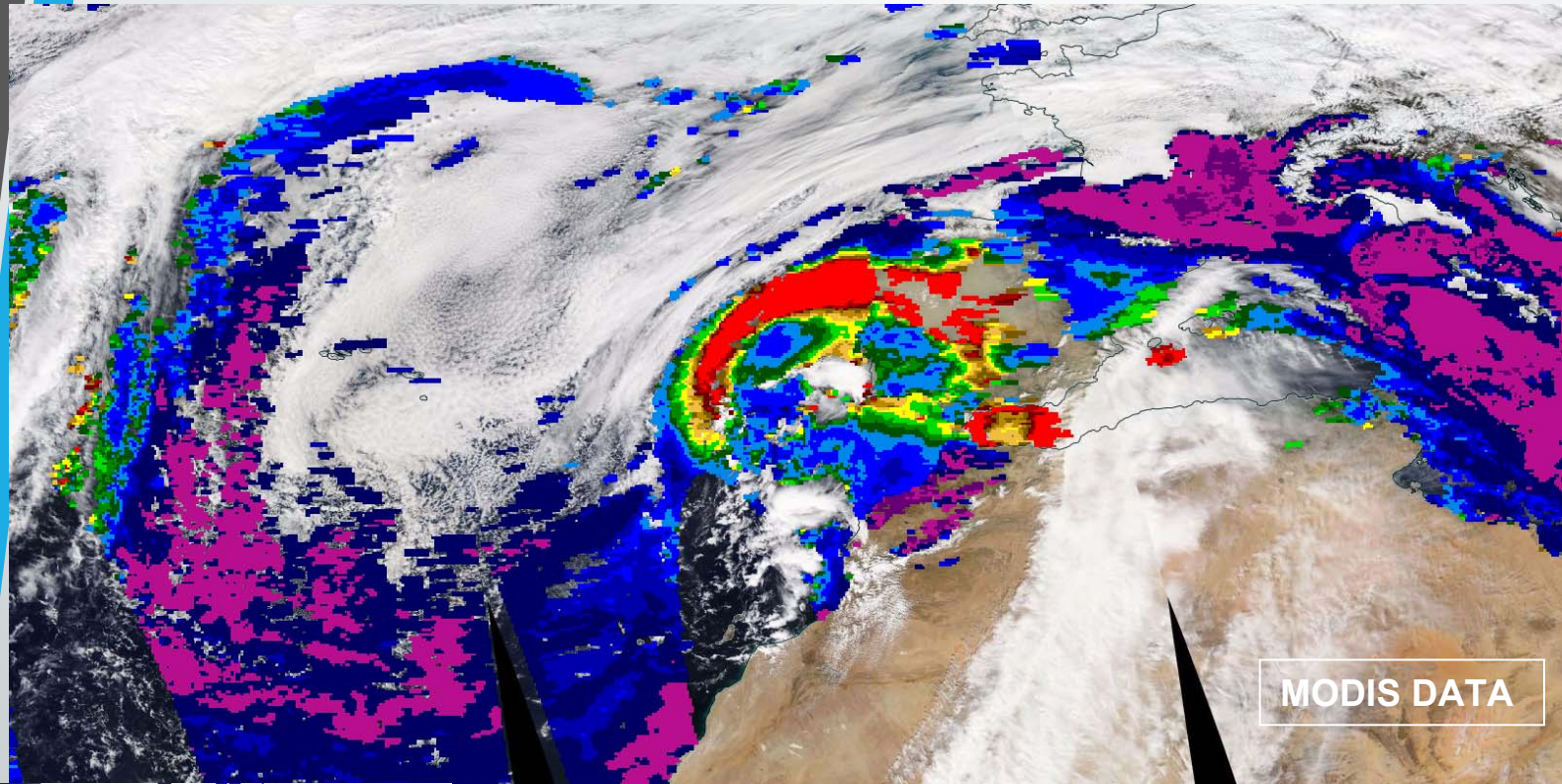


# El mayor evento desértico registrado sobre la IP (21-22 February, 2016), imagen RGB de MODIS



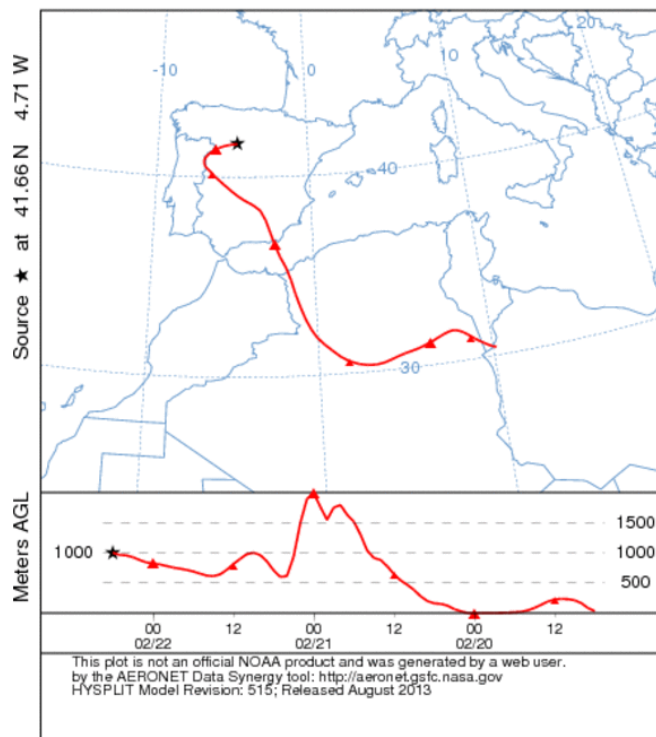
MODIS DATA

# MAPA DEL AOD del sensor MODIS, TERRA



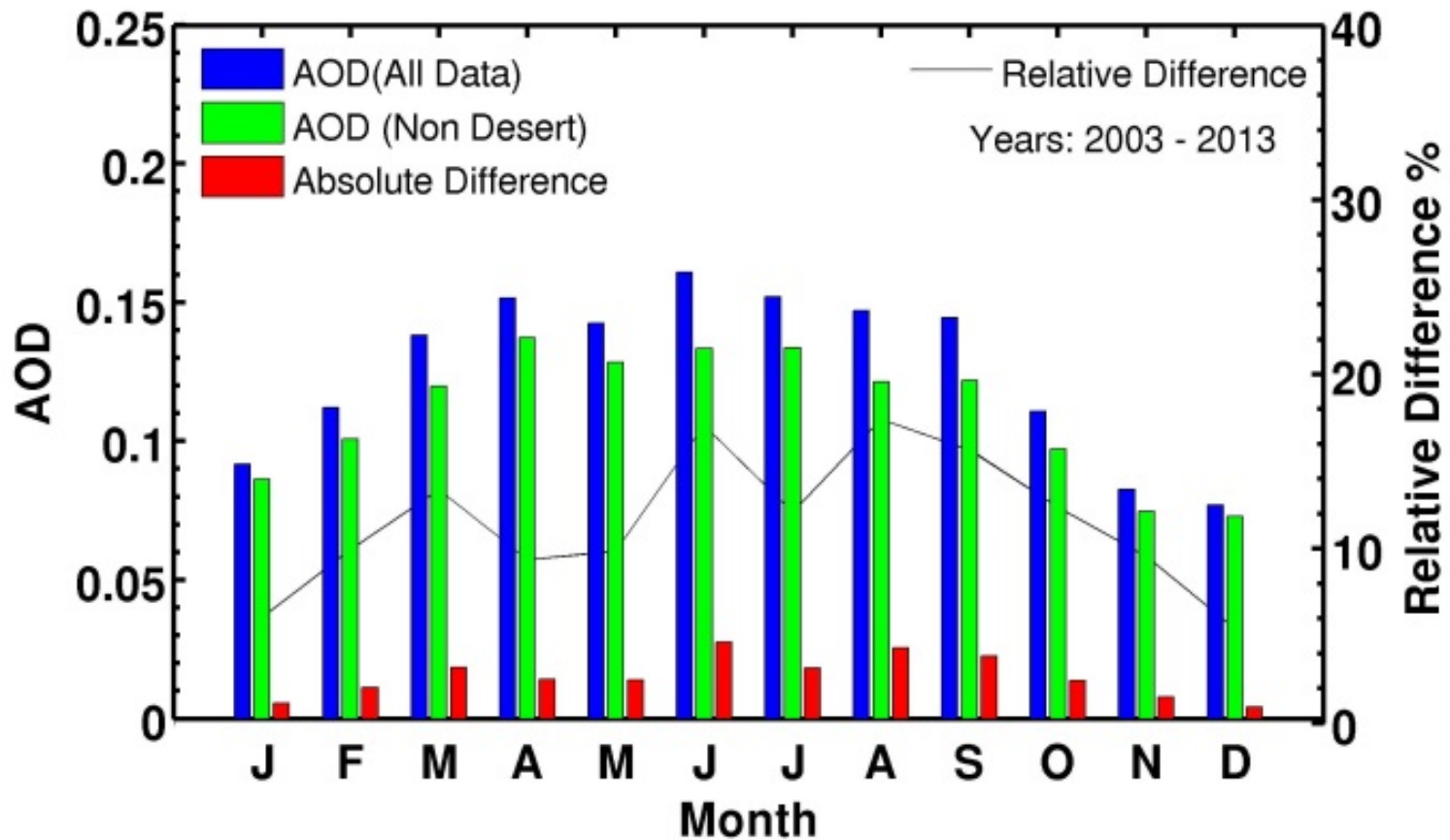
# HYSPPLIT Back-trajectories NOAA

NOAA HYSPLIT MODEL - NASA/AERONET Run  
Backward trajectory ending at 0600 UTC 22 Feb 16  
GDAS Meteorological Data



# Contribución del aerosol desértico

## Palencia-Peñausende (2003-2014)





## **Las redes de medida: la red AERONET y la red RIMA**

**El trabajo operativo del GOA-UVa in la red AERONET-RIMA**

# RIMA (Red Ibérica de Medida fotométrica de Aerosoles)



- RIMA fue creada en 2004 por diferentes Instituciones españolas
- Se unieron los grupos portugueses
- Tiene 25 estaciones



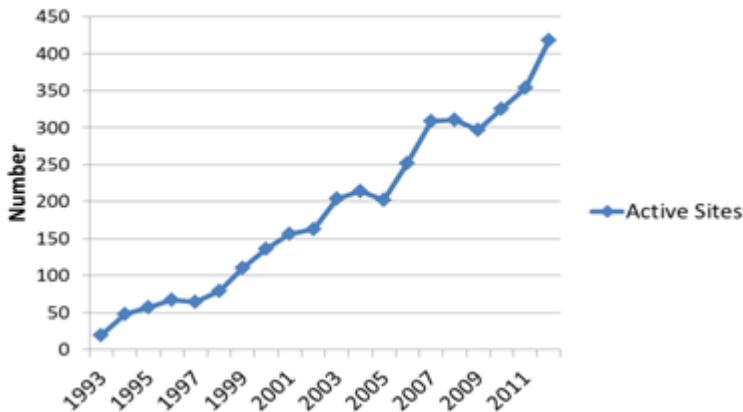
# AERONET Aerosol Robotic Network

## De ámbito mundial gestionada por NASA

15 May  
1993

15 May  
2013

AERONET Growth (1993-2012)



The **AERONET program** is a federation of ground-based remote sensing aerosol networks established by NASA and LOA-PHOTONS (CNRS) and has been expanded by collaborators from international agencies, institutes, universities, individual scientists and partners.

**AERONET** provides a long-term, continuous public database of aerosol optical, microphysical, and radiative properties for aerosol research and characterization, validation of satellite measurements, and synergism with other databases.

- >7000 citations
- >400 sites
- Over 80 countries
- <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>

20 Years of Observations and Research

# ¿Que es AERONET?

## Objetivos y naturaleza de AERONET

<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>

- Es una red científica y operativa
- Es una federación de redes (AERONET, PHOTONS, AEROCAN, RIMA, ...)
- Objetivos:
  - Medida de las propiedades de los aerosoles a largo plazo
  - Validación de medidas de satélite
  - Sinergia con otro tipo de medidas de aerosoles
  - Validación de los modelos de aerosoles
  - **Climatología de los aerosoles a escala mundial y su uso en la evaluación del “aerosol-forcing”**

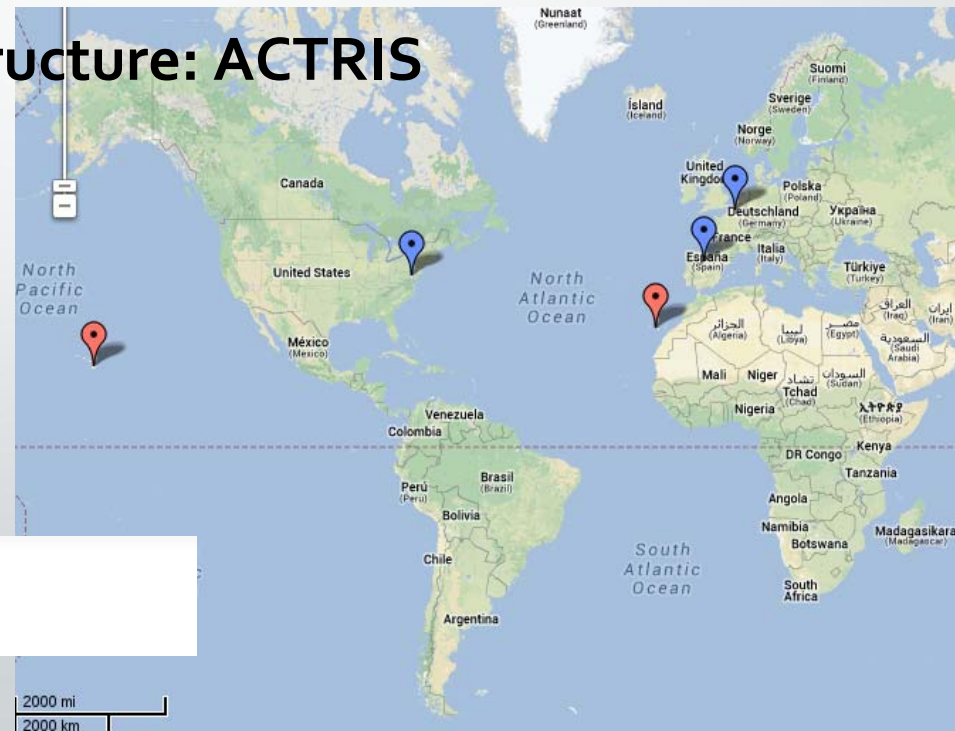
# Organización actual de AERONET

## ¿Que es AERONET-EUROPE?

- Centros de calibración: **GSFC-NASA, LOA-Lille y GOA-UVA**
- Centros de Calibración-MASTER:
  - **Mauna Loa**
  - **Izaña-Tenerife**
- **AERONET/Europe Infrastructure: ACTRIS**



**Aerosols, Clouds, and Trace Gases Research  
Infrastructures Network**



# Índice

III. Las redes de medida: la red AERONET y la red RIMA

- El trabajo operativo del GOA-UVa in la red AERONET-RIMA

# “Calibration Facility” en Valladolid Facultad de Ciencias

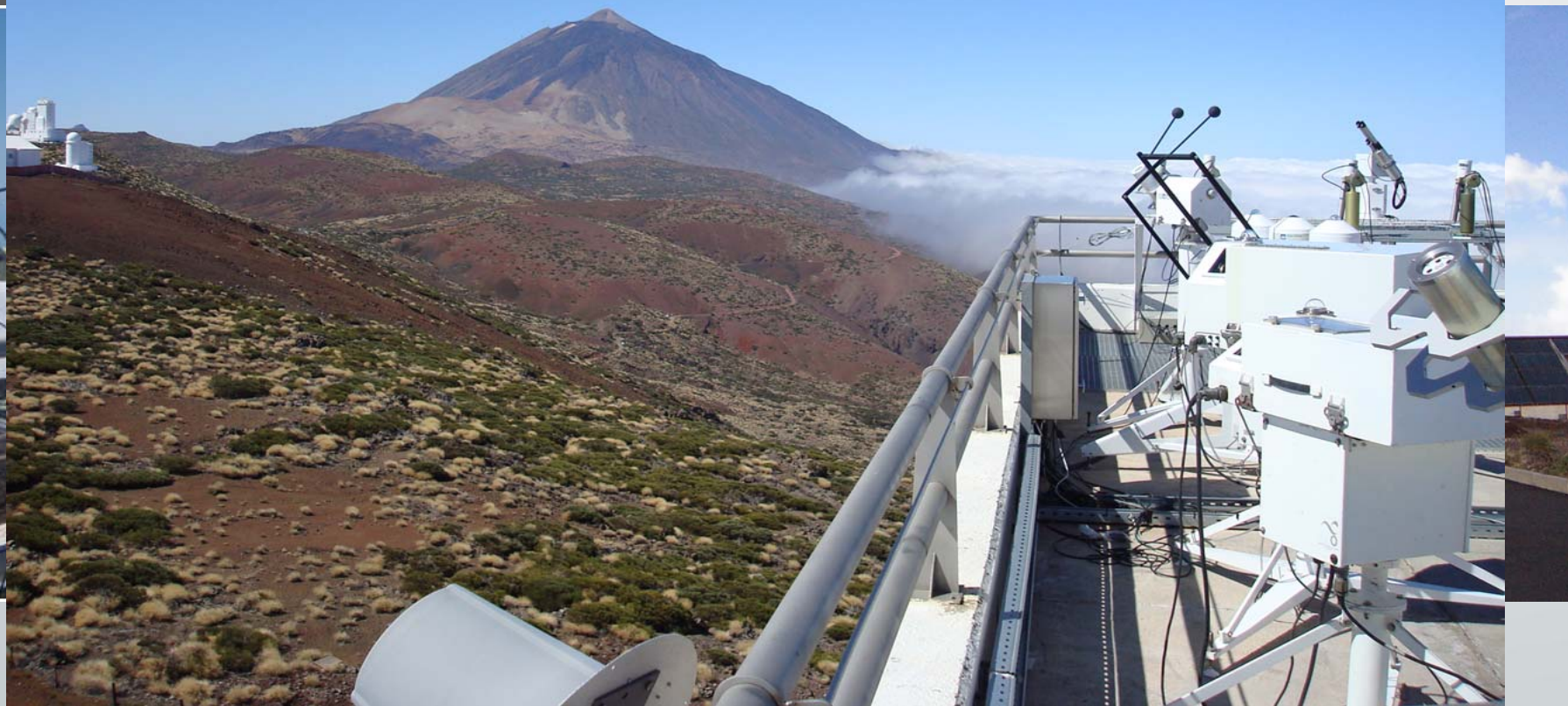


# PIMA-MASTER Calibration Facility



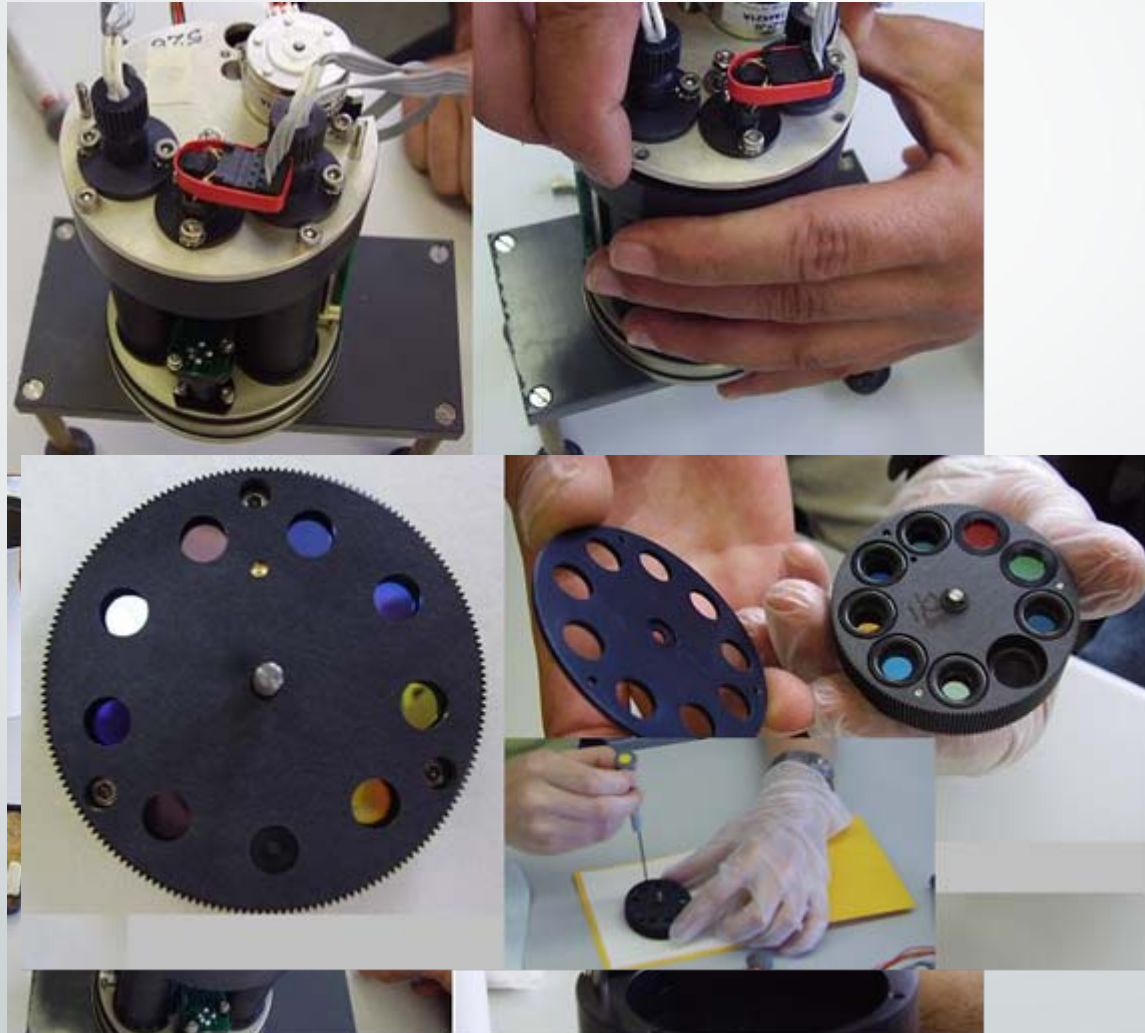
Excelentes condiciones atmosféricas, AOD~0.02

Unica en Europa



# Trabajo de Mantenimiento

**Abrir la cabeza del sensor para el reemplazo de los filtros ópticos**



# Trabajo de Mantenimiento



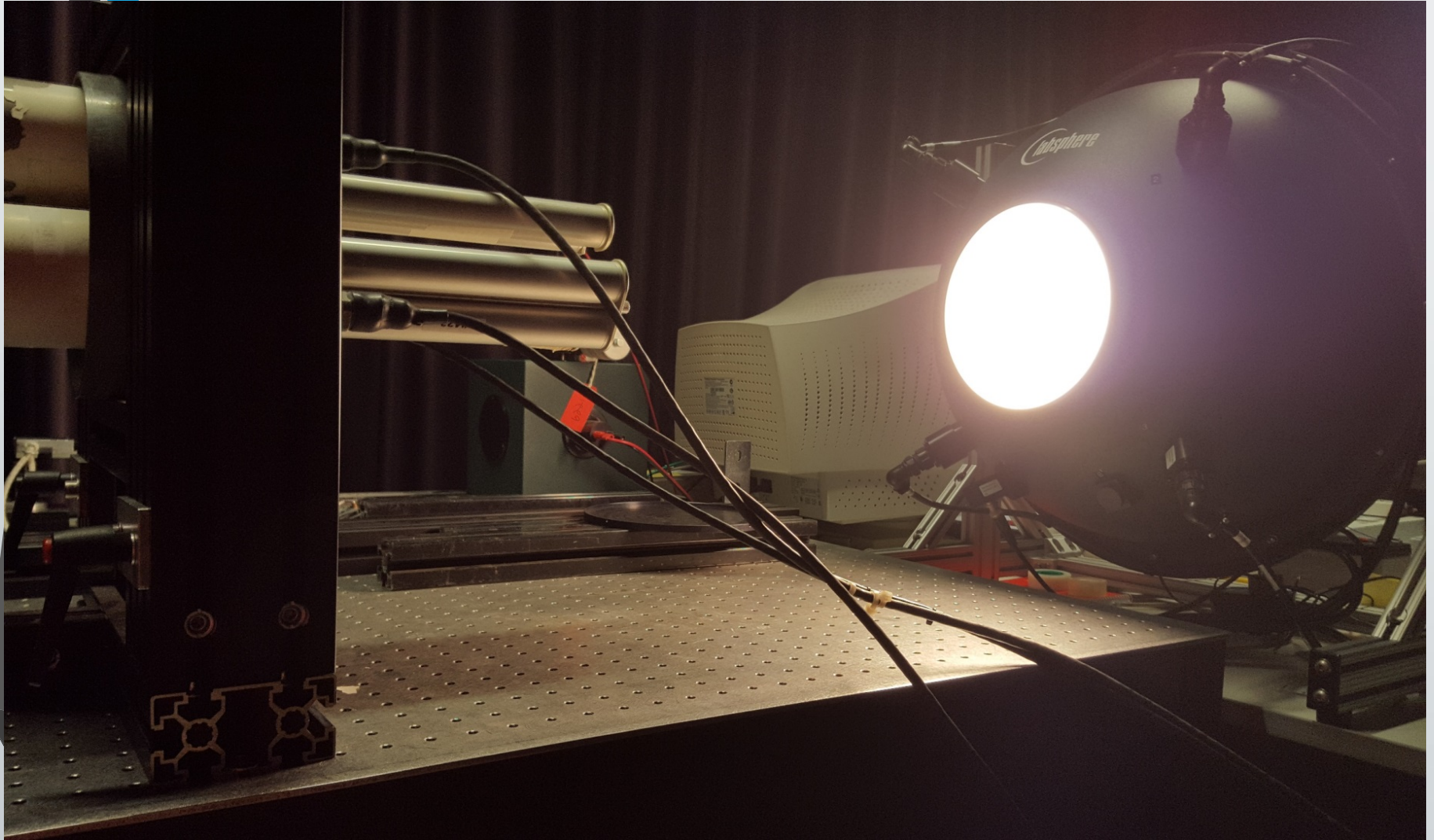
**Comprobación de la posición correcta de los diferentes elementos de los tubos Colimadores**

**Limpieza de ventanas y lentes**





# Calibración en el Laboratorio



# EL SISTEMA DE GESTION CAELIS

- Control de instrumentos. Información total sobre el “status” actual instrumento. Toda la historia del instrumento.
- Control de calidad de las medidas. Acceso en tiempo real a las medidas. Toma y envío de datos
- Almacenamiento de datos
- Sistema de ayuda para la investigación. Procesamiento de datos

## www.caelis.uva.es - CÆLIS -

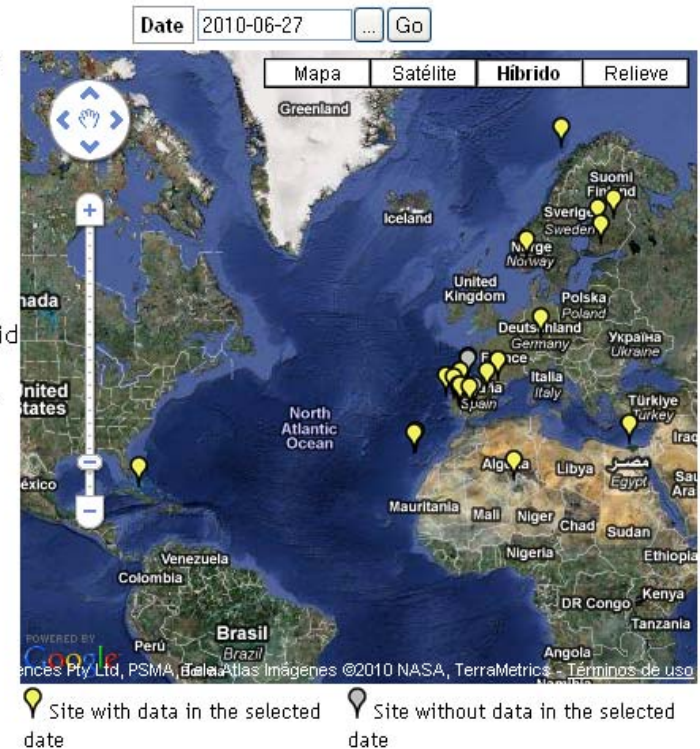
Web interface developed by GOA-UVA to browse and display radiometric data

Welcome to the CÆLIS web interface. In this web you can access several information related with radiometric measurements. The first service provided through this system is a tool for site managers and researchers in the frame of AERONET.

- [Description of the sites](#) (also click on site names in the map)
- Real-time information to track the status of the photometers (e.g. location, measurement periods, calibration coefficients, etc.)
- Access to the AERONET data from the links displayed on the map (via AERONET site).
- Documentation about instruments, failures and troubleshooting.

The content of this web page is provided by the Group of Atmospheric Optics, Valladolid University (GOA-UVA). Large support is obtained from the Izaña Observatory, AERONET (NASA) and PHOTONS (Univ. of Lille). To see this contents, it is necessary to register. If you are not registered, please register below.

<http://www.caelis.uva.es>



# EI SISTEMA DE GESTION CAELIS

CAELIS [GOA software]

Home

Instruments

Data

Sites

System

## Sites

Site Andenes

Find

Date 2010-07-29 ... Go

Mapa Satélite Hibrido Relieve



Site Andenes

Find

## Cáceres

**Latitude:** 39.4785830 (Cimel parameter: 2369 )

**Longitude:** -6.3434670 (Cimel parameter: W0h; 25m; 22s )

**Elevation:** 397 m.








[View aeronet site information \(Andenes\)](#)

**Responsible institutions:**

- [Universidad de Extremadura](#)

**Site Description:**

The instrument is located on the roof of Escuela Politécnica (Polytechnic School from the University of Extremadura). This is a place close to Cáceres city. The coordinates are 39° 28,715' N, 06° 20,608' W, altitud 397 m (a.s.l).









Start date	End date	Photometer	
2005-07-20 00:00:01	2006-05-27 00:00:00	341	
2006-07-12 09:00:01	2008-07-08 14:00:00	341	
2008-07-08 00:00:01	2009-02-10 18:00:01	353	
2009-02-10 11:01:22	2009-03-16 00:00:00	341	
2009-04-03 10:00:01	2009-06-10 10:00:00	341	
2009-06-10 10:30:01	2010-06-15 08:00:00	243	
2010-06-15 08:00:01	Current	422	



# Photometer Description

**Ph** 
  
**Date**  ...

## Photometer #243

First	Last	Installation Type	Station	
2002-02-08 00:00:01	2002-02-22 00:00:00	calibration	GSFC	
2002-05-30 14:00:01	2002-07-28 10:00:00	routine	Andenes	
2003-01-05 10:00:01	2003-01-06 10:00:00	calibration	Lille	
2003-01-23 10:00:01	2003-11-22 10:00:00	routine	Palencia	
2004-01-01 10:00:01	2004-01-02 10:00:00	calibration	Lille	
2004-01-21 10:00:01	2004-04-09 10:00:00	routine	Palencia	
2004-04-26 00:00:01	2004-07-02 00:00:00	calibration	Carpentras	
2004-07-19 00:00:01	2004-07-31 00:00:00	calibration	Lille	
2004-08-10 00:00:01	2004-11-17 00:00:00	calibration	Carpentras	
2004-11-25 00:00:01	2004-12-04 00:00:00	calibration	Lille	
2004-12-21 00:00:01	2006-05-25 00:00:00	routine	Palencia	
2006-06-04 00:00:01	2006-07-11 00:00:00	calibration	El Arenosillo	
2006-07-30 00:00:01	2006-07-31 00:00:00	routine	Palencia	
2006-09-25 00:00:01	2007-03-15 00:00:00	calibration	Carpentras	
2007-03-15 00:00:01	2007-03-21 00:00:00	calibration	Lille	
2007-03-30 00:00:01	2008-07-01 14:45:00	routine	Palencia	
2008-07-01 14:45:01	2008-11-02 12:00:00	calibration	Autilla del Pino	
2009-01-05 00:00:01	2009-01-26 00:00:00	calibration	Carpentras	
2009-01-30 00:00:01	2009-02-06 00:00:00	calibration	Lille	
2009-02-11 00:00:01	2009-05-28 10:00:00	routine	Palencia	
2009-06-10 10:30:01	2010-06-15 08:00:00	routine	Cáceres	
2010-06-23 10:30:01	Current	calibration	Autilla del Pino	

# CAELIS: instruments and data control

Sites

## Alarms

Show: Station Ph All Rima Photons Hide Lab/box  
 Select date: 2015-07-17

2015 Jul						
Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

### RIMA: Know instrument status

Alarm description  
 For fully operational alarms, please use the AERONET Instrument Checklist

### RIMA: Check real time received data



#783

#784

#787

#788

#790

#802

3	2015-07-12 Sunday	Maiaga routine Status b : 63 Status s : 69 Only status
4	5	Sodankyla routine #Received : 5 Ok! Status h : 1
5	6	Gozo routine No Data
6	2	MetObs_Lindenberg routine #Received : 2 Ok!
7	5	Valladolid master #Received : 5 Ok!
8	2	Teide routine #Received : 2 Ok!
9	5	CENER routine #Received : 5 Ok!

# CAELIS, ayuda a evaluar las propiedades del aerosol

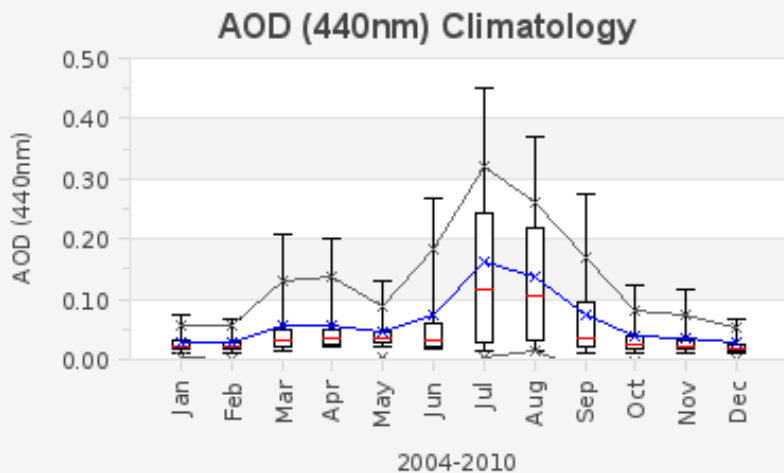
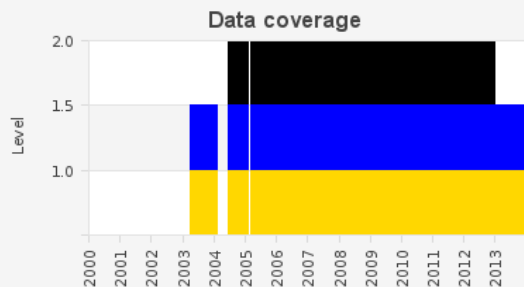
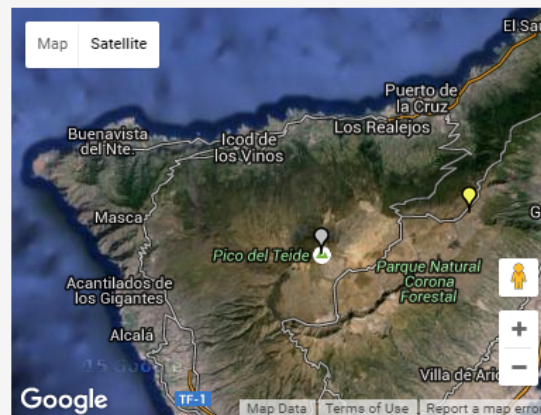
## Izana

Select year:

Select AOD Wavelength:

Select data level:

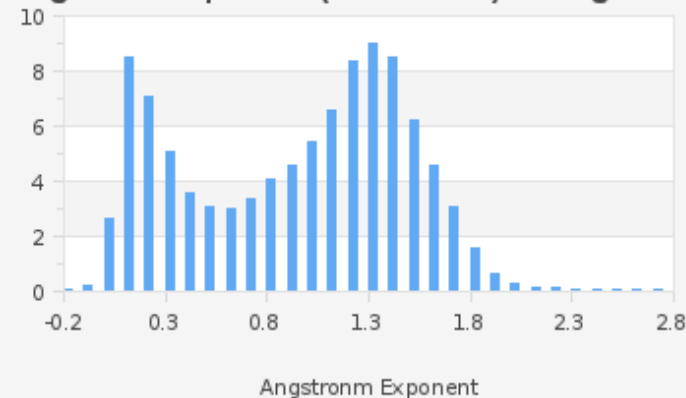
Izana is located at latitude 28.3093°, longitude -16.4991° and elevation 2391 meters above sea level. You can obtain more information about this station at [AERONET web site](http://www.aeronet.org). This site started measuring on 2003-03-27



### Optical Sun data

WD	# Obs
± 0.13	6156
± 0.13	4659
± 0.17	7114
± 0.16	8246
± 0.19	11091
± 0.21	15520
± 0.25	15934
± 0.33	13328
± 0.31	9957
± 0.26	8969
± 0.25	5779
± 0.16	6203
± 0.27	112956

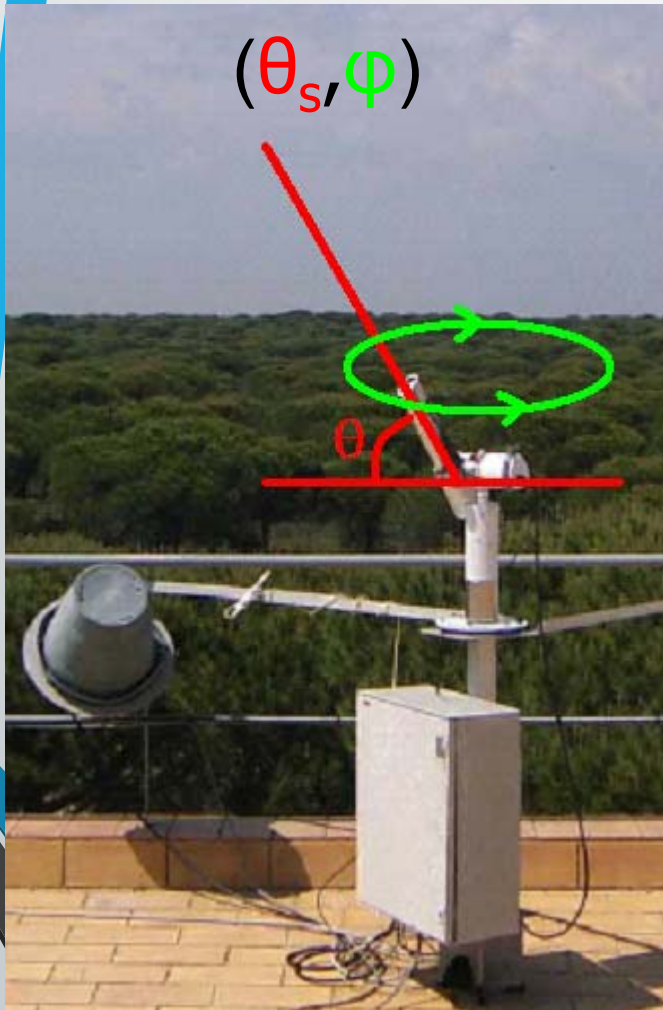
### Ångström Exponent (440-870nm) Histogram



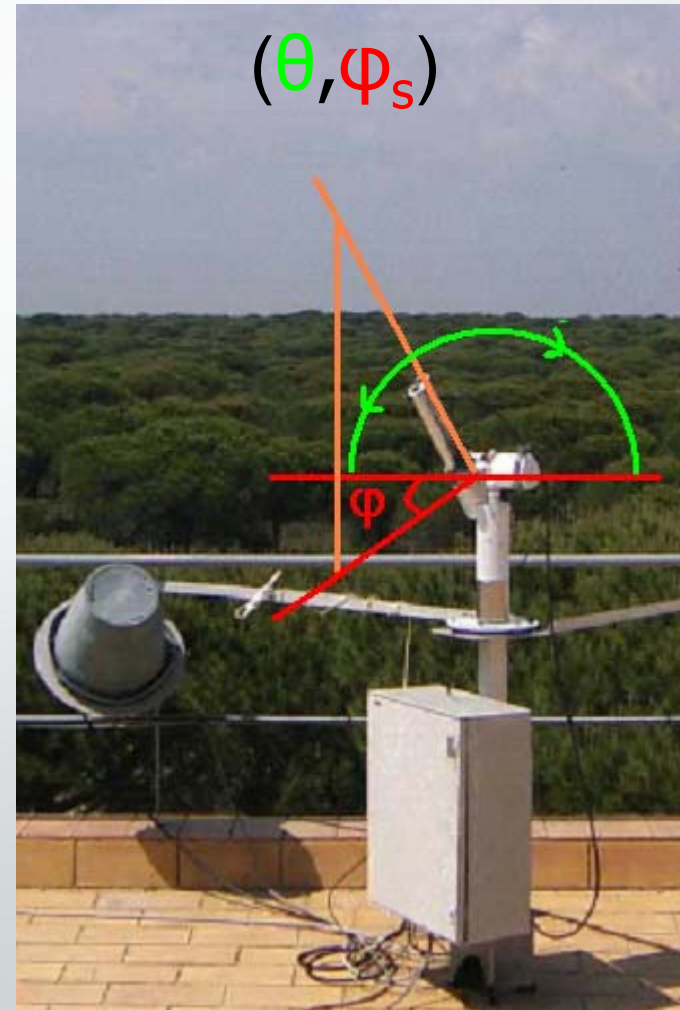


# Medida de la R. Difusa: “Sky Radiance” Measurement Secuencia

## Almucantar



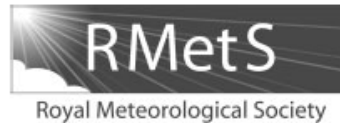
## Principal plane





## **El estudio del vapor de agua precipitable o en columna PWV**

- Determinación fotométrica del vapor de agua**
- Caracterización y climatología**
- Validación de diferentes técnicas de medida**



---

## Analysis of the annual cycle of the precipitable water vapour over Spain from 10-year homogenized series of GPS data

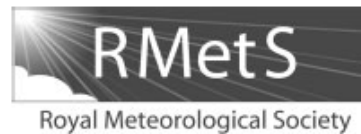
J. P. Ortiz de Galisteo,<sup>a,b\*</sup> Y. Bennouna<sup>b</sup>, C. Toledano<sup>b</sup>, V. Cachorro<sup>b</sup>, P. Romero<sup>c</sup>,  
M. I. Andrés<sup>d</sup> and B. Torres<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Meteorological State Agency, Territorial Delegation of Castilla y León, Spain*

<sup>b</sup>*Group of Atmospheric Optics, University of Valladolid, Spain*

<sup>c</sup>*Izaña Atmospheric Research Center, AEMET, Spain*

<sup>d</sup>*Junta de Castilla y León, Consejería de Educación, Spain*



---

## The evaluation of the integrated water vapour annual cycle over the Iberian Peninsula from EOS-MODIS against different ground-based techniques

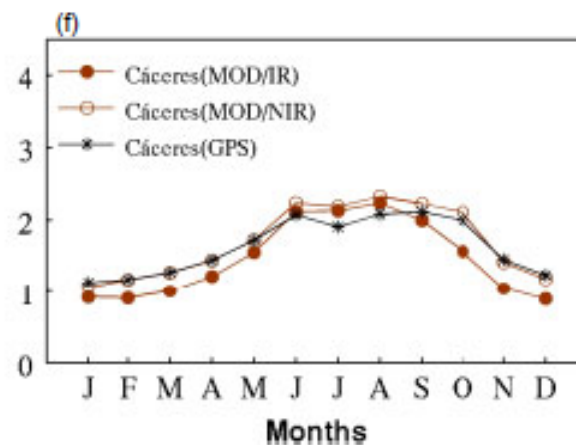
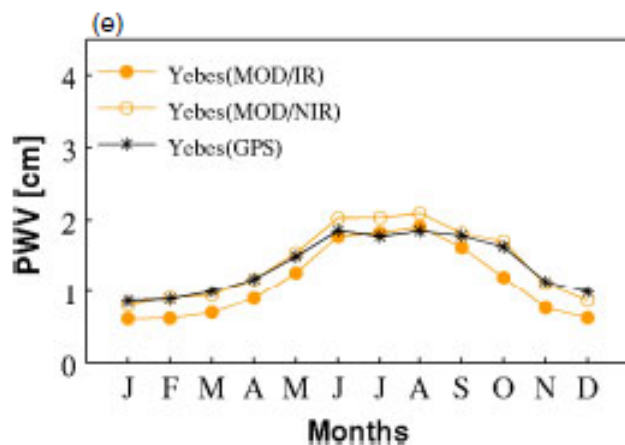
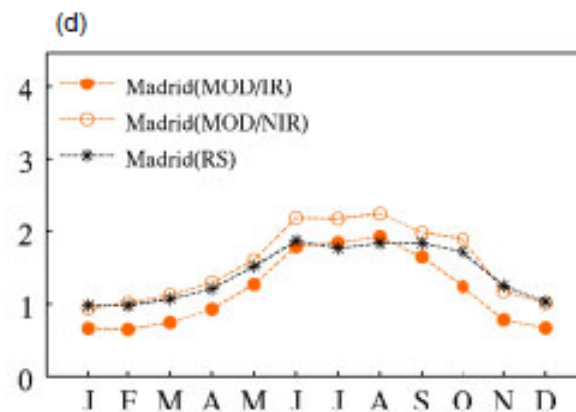
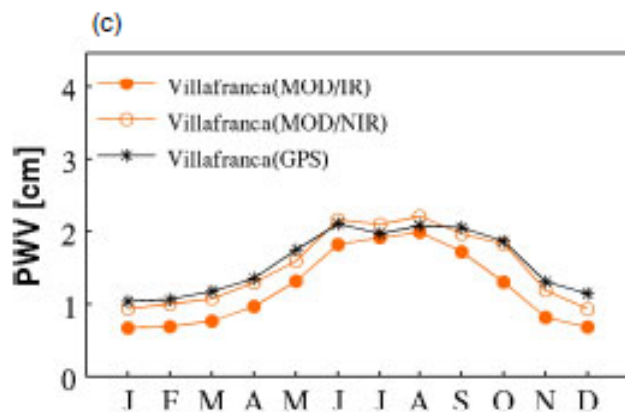
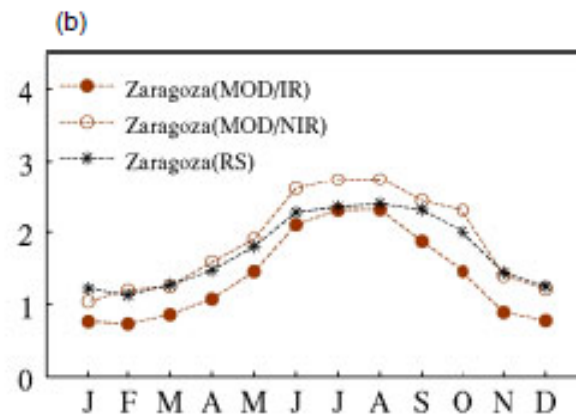
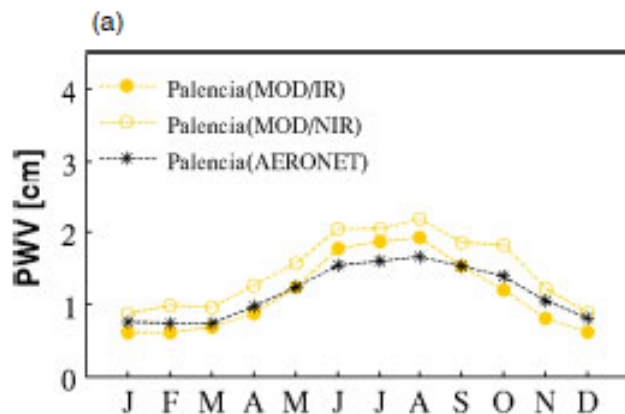
Y. S. Bennouna,<sup>a\*</sup> B. Torres,<sup>a</sup> V. E. Cachorro,<sup>a</sup> J. P. Ortiz de Galisteo<sup>a,b</sup> and C. Toledano<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Atmospheric Optics Group (GOA), University of Valladolid, Spain*

<sup>b</sup>*Meteorological State Agency of Spain (AEMET), Territorial Delegation of Castilla y León, Valladolid, Spain*



**Figure 1.** Location of the ground-based stations (GPS/radiosounding/AERONET) in the Iberian Peninsula. The grey lines show boundaries between the autonomous regions of Spain. This figure is available in colour online at [www.interscience.wiley.com/journal/qj](http://www.interscience.wiley.com/journal/qj)





# Comparison of total water vapor column from GOME-2 on MetOp-A against ground-based GPS measurements at the Iberian Peninsula

R. Román <sup>a,\*</sup>, M. Antón <sup>b</sup>, V.E. Cachorro <sup>a</sup>, D. Loyola <sup>c</sup>, J.P. Ortiz de Galisteo <sup>a,d</sup>, A. de Frutos <sup>a</sup>, P.M. Romero-Campos <sup>e</sup>

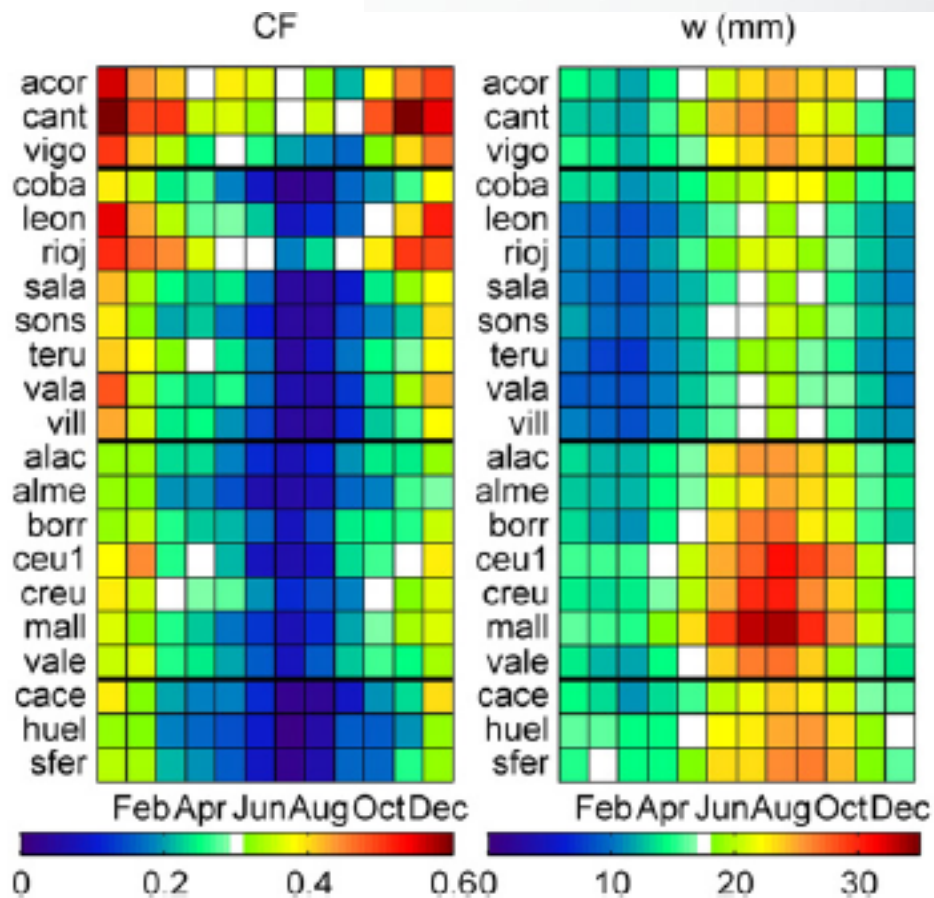
<sup>a</sup> Grupo de Óptica Atmosférica (GOA), Universidad de Valladolid, Valladolid, Spain

<sup>b</sup> Departamento de Física, Universidad de Extremadura, Badajoz, Spain

<sup>c</sup> Remote Sensing Technology Institute (IMF), German Aerospace Center (DLR), Oberpfaffenhofen, Germany

<sup>d</sup> Meteorological State Agency (AEMET), Regional Office in Castilla y León, Spain

<sup>e</sup> Izaña Atmospheric Research Center (IARC), Meteorological State Agency (AEMET), Spain





Muchas gracias