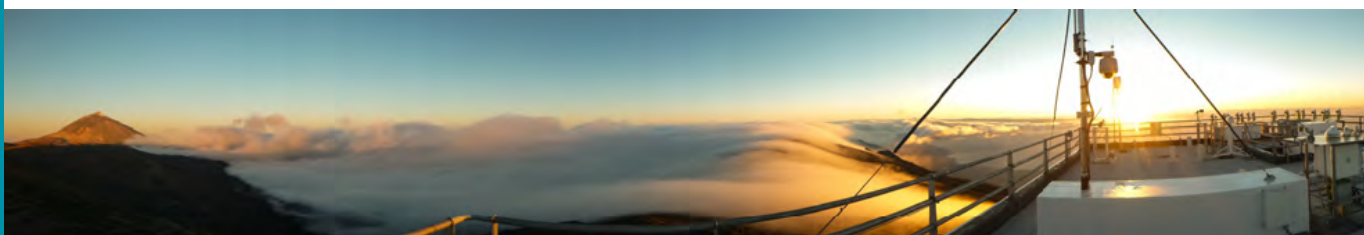


# Centro de Investigación Atmosférica de Izaña



## Informe de actividades 2017-2018

**Publicación conjunta de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)  
y la Organización Meteorológica Mundial (OMM)**

**Informe OMM/VAG Núm. 247**



ORGANIZACIÓN  
METEOROLÓGICA  
MUNDIAL



GLOBAL  
ATMOSPHERE  
WATCH



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA  
CUARTA DEL GOBIERNO

MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

**AEMet**

Agencia Estatal de Meteorología

Fotografía de cubierta: Observatorio Atmosférico de Izaña

#### **Citación:**

Cuevas, E., Milford, C., Bustos, J. J., García, O. E., García, R. D., Gómez Peláez, A. J., Guirado Fuentes, C., Marrero, C., Prats, N., Ramos, R., Redondas, A., Reyes, E., Rivas Soriano, P. P., Rodríguez, S., Romero Campos, P. M., Torres, C. J., Schneider, M., Yela, M., Belmonte, J., del Campo Hernández, R., Almansa, F., Barreto, A., López Solano, C., Basart, S., Terradellas, E., Werner, E., Afonso, S., Bayo, C., Berjón, A., Carreño, V., Castro, N. J., China, N., Cruz, A. M., Damas, M., De Ory Ajamil, F., García, M. I., Gómez Trueba, V., Hernández, C., Hernández, Y., Hernández Cruz, B., León Luis, S. F., López Fernández, R., López Solano, J., Parra, F., Rodríguez, E., Rodríguez Valido, M., Sálamo, C., Sanromá, E., Santana, D., Santo Tomás, F., Sepúlveda, E. y Sosa, E.: Izaña Atmospheric Research Center Activity Report 2017-2018. (Eds. Cuevas, E., Milford, C. y Tarasova, O.), Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Madrid (España) y Organización Meteorológica Mundial (OMM), Ginebra (Suiza), Informe OMM/VAG Núm. 247, 2020.

Para obtener más información, póngase en contacto con:

Centro de Investigación Atmosférica de Izaña  
Calle La Marina, 20. Santa Cruz de Tenerife  
Tenerife, 38001, España  
Tel.: +34 922 151 718  
Fax: +34 922 574 475  
Correo electrónico: [ciai@aemet.es](mailto:ciai@aemet.es)  
<http://izana.aemet.es>

Edita:

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico  
Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)  
Calle Leonardo Prieto Castro, 8  
28071 - Madrid (España)  
[www.aemet.es](http://www.aemet.es)

NIPO: 666-20-024-3  
<https://doi.org/10.31978/666-20-024-3>

#### **© Organización Meteorológica Mundial y AEMET, 2020**

La OMM se reserva el derecho de publicación en forma impresa, electrónica o de otro tipo y en cualquier idioma. Pueden reproducirse pasajes breves de las publicaciones de la OMM sin autorización siempre que se indique claramente la fuente completa. La correspondencia editorial, así como todas las solicitudes para publicar, reproducir o traducir la presente publicación (o artículos) parcial o totalmente deberán dirigirse al:

Presidente de la Junta de Publicaciones  
Organización Meteorológica Mundial (OMM)  
7 bis, avenue de la Paix Tel.: +41 (0) 22 730 84 03  
Case postale 2300 Fax: +41 (0) 22 730 80 40  
CH-1211 Genève 2 (Suiza) Correo electrónico: [publications@wmo.int](mailto:publications@wmo.int)

NOTA

Las denominaciones empleadas en las publicaciones de la OMM y la forma en que aparecen presentados los datos que contienen no entrañan, de parte de la Organización, juicio alguno sobre la condición jurídica de ninguno de los países, territorios, ciudades o zonas citados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

La mención de determinados productos o sociedades mercantiles no implica que la OMM los favorezca o recomiende con preferencia a otros análogos que no se mencionan ni se anuncian.

Las observaciones, interpretaciones y conclusiones expresadas en las publicaciones de la OMM por autores cuyo nombre se menciona son únicamente las del autor y no reflejan necesariamente las de la Organización ni las de sus Miembros.

La presente publicación ha sido objeto de una edición somera.



# Centro de Investigación Atmosférica de Izaña

## Informe de actividades 2017-2018

### Preparado por:

E. Cuevas<sup>1</sup>, C. Milford<sup>1</sup>, J. J. Bustos<sup>1</sup>, O. E. García<sup>1</sup>, R. D. García<sup>1,2</sup>, A. J. Gómez Peláez<sup>1</sup>, C. Guirado Fuentes<sup>1,3</sup>, C. Marrero<sup>1</sup>, N. Prats<sup>1</sup>, R. Ramos<sup>1</sup>, A. Redondas<sup>1</sup>, E. Reyes<sup>1</sup>, P. P. Rivas Soriano<sup>1</sup>, S. Rodríguez<sup>1</sup>, P. M. Romero Campos<sup>1</sup>, C. J. Torres<sup>1</sup>, M. Schneider<sup>4</sup>, M. Yela<sup>5</sup>, J. Belmonte<sup>6</sup>, R. del Campo Hernández<sup>7</sup>, F. Almansa<sup>1,8</sup>, A. Barreto<sup>1,8</sup>, C. López Solano<sup>9</sup>, S. Basart<sup>10</sup>, E. Terradellas<sup>11</sup>, E. Werner<sup>11</sup>, S. Afonso<sup>1</sup>, C. Bayo<sup>1</sup>, A. Berjón<sup>1,4,12</sup>, V. Carreño<sup>1</sup>, N. J. Castro<sup>1</sup>, N. Chinae<sup>8,12</sup>, A. M. Cruz<sup>1</sup>, M. Damas<sup>1</sup>, F. de Ory Ajamil<sup>1</sup>, M. I. García<sup>1,13</sup>, V. Gómez Trueba<sup>2</sup>, C. Hernández<sup>1</sup>, Y. Hernández<sup>1</sup>, B. Hernández Cruz<sup>13</sup>, S. F. León Luis<sup>1</sup>, R. López Fernández<sup>1</sup>, J. López Solano<sup>1,12</sup>, F. Parra<sup>14</sup>, E. Rodríguez<sup>1</sup>, M. Rodríguez Valido<sup>13</sup>, C. Sálamo<sup>1</sup>, E. Sanromá<sup>1</sup>, D. Santana Díaz<sup>8,15</sup>, F. Santo Tomás<sup>1</sup>, E. Sepúlveda<sup>1</sup> y E. Sosa<sup>1</sup>

### Editores:

Emilio Cuevas<sup>1</sup>, Celia Milford<sup>1</sup> y Oksana Tarasova<sup>16</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación Atmosférica de Izaña, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Tenerife (España)

<sup>2</sup> Air Liquide, Tenerife (España)

<sup>3</sup> Grupo de Óptica Atmosférica, Universidad de Valladolid, Valladolid (España)

<sup>4</sup> Instituto para Investigación de la Meteorología y el Clima, Instituto Tecnológico de Karlsruhe (KIT), Karlsruhe (Alemania)

<sup>5</sup> Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), Torrejón de Ardoz, Madrid (España)

<sup>6</sup> Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), Barcelona (España)

<sup>7</sup> Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Madrid (España)

<sup>8</sup> Cimel Electronique, París (Francia)

<sup>9</sup> SIELTEC, La Laguna, Tenerife (España)

<sup>10</sup> Barcelona Supercomputing Center (Centro Nacional de Supercomputación), Barcelona (España)

<sup>11</sup> Centro Regional del Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena, AEMET (España)

<sup>12</sup> TRAGSATEC, Madrid (España)

<sup>13</sup> Universidad de La Laguna (ULL), Tenerife (España)

<sup>14</sup> Universidad Interamericana de Puerto Rico, Puerto Rico (Estados Unidos de América)

<sup>15</sup> LuftBlick Earth Observation Technologies, Innsbruck (Austria)

<sup>16</sup> Organización Meteorológica Mundial, Ginebra (Suiza)

**Publicación conjunta de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)  
y la Organización Meteorológica Mundial (OMM)**

**Informe OMM/VAG Núm. 247**





# Índice

Prólogo .....	vii
1 Organización .....	1
2 Misión y antecedentes .....	1
3 Instalaciones y resumen de las mediciones .....	2
4 Gases de efecto invernadero y ciclo del carbono .....	18
5 Gases reactivos y ozon sondas .....	27
6 Columna de ozono total y radiación ultravioleta .....	35
7 Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) .....	46
8 Aerosoles <i>in situ</i> .....	55
9 Aerosoles en columna .....	61
10 Radiación .....	72
11 Espectroscopía de absorción óptica diferencial (DOAS) .....	79
12 Vapor de agua .....	84
13 Meteorología .....	92
14 Aerobiología .....	102
15 Fenología .....	106
16 ACTRIS .....	109
17 Centro Regional de Calibración Brewer para Europa (RBCC-E) .....	114
18 Centros de actividades sobre tormentas de polvo y arena .....	122
19 Programa de hermanamiento con la estación VAG de Tamanrasset .....	132
20 Banco de pruebas de la CIMO/OMM para instrumentos de teledetección de aerosoles y vapor de agua .....	135
21 Actividades formativas .....	143
22 Comunicación científica .....	146
23 Publicaciones .....	152
24 Tesis doctorales .....	160
25 Lista de proyectos científicos .....	163
26 Lista de las principales redes, programas e iniciativas nacionales e internacionales .....	165
27 Personal .....	167
28 Lista de acrónimos .....	171
29 Agradecimientos .....	179



# Prólogo

2019 fue un año importante para la Organización Meteorológica Mundial (OMM). El Decimotavo Congreso Meteorológico Mundial aprobó una reforma histórica de los órganos integrantes de la OMM para adoptar un enfoque más integral del sistema de la Tierra que pone un mayor énfasis en los recursos hídricos y el océano, en llevar a cabo unas actividades climáticas más coordinadas y en emprender esfuerzos más concertados para traducir la ciencia en servicios para la sociedad. En la nueva organización, la Junta de Investigación tenía la tarea de reunir a la gran comunidad científica internacional para fomentar un enfoque de investigación integrado y multidisciplinar sobre el tiempo, el clima, el agua y el medio ambiente, y para facilitar el desarrollo de todos los elementos de la cadena de valor, desde el descubrimiento científico hasta el servicio a la sociedad, todo dentro del contexto del enfoque del sistema de la Tierra. Los programas de investigación actuales, a saber, el Programa de Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG), el Programa Mundial de Investigación Meteorológica (PMIM) y el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC), copatrocinado, constituyen los componentes básicos de este enfoque de investigación multidisciplinar en la OMM.

El programa de la VAG cumplió su 30.º aniversario este año. La VAG proporciona liderazgo internacional en materia de investigación y desarrollo de capacidades en observación y análisis de la composición atmosférica desde la escala global hasta la local, y promueve la ciencia de alta calidad, permitiendo así el desarrollo de una nueva generación de productos y servicios. Una extensa infraestructura de investigación respalda los objetivos del programa.

El Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (CIAI), que forma parte de la Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET), representa un centro de excelencia en ciencias atmosféricas. Gestiona cuatro observatorios en Tenerife, incluido el Observatorio de Izaña de gran altitud, inaugurado en 1916 y que desde entonces ha realizado observaciones meteorológicas y climatológicas ininterrumpidas y se ha convertido en una estación centenaria de la OMM.

El Observatorio de Izaña ha contribuido al programa de la VAG desde sus inicios y es una de las 31 estaciones de la red de vigilancia mundial de la VAG. Realiza mediciones y análisis de alta calidad y a largo plazo (varias décadas) de gases de efecto invernadero atmosféricos, ozono en superficie y en columna, radiaciones ultravioleta y solar, aerosoles *in situ* y en columna y gases reactivos seleccionados.

El CIAI respalda el marco de garantía de calidad de la VAG operando el Centro Regional de Calibración Brewer para Europa (RBCC-E), que calibra espectrofotómetros Brewer en Europa y África del Norte, mantiene la referencia de ozono Brewer y aloja

la Red Europea de espectrofotómetros Brewer (EUBREWNET). Además, el CIAI opera un banco de pruebas de la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación (CIMO) de la OMM para instrumentos de teledetección de aerosoles y vapor de agua. También presta apoyo al Centro Radiométrico Mundial manteniendo uno de los instrumentos de referencia del radiómetro de filtro de precisión del Centro mundial de investigación y calibración sobre profundidad óptica (WORCC) en el Observatorio de Izaña. Este último es también una de las tres instalaciones de calibración de la red AERONET-EUROPE y asegura la calibración de más de 80 emplazamientos de AERONET.

El Centro de Investigación Atmosférica de Izaña también juega un papel importante en el apoyo a la cooperación internacional. Por ejemplo, contribuye al PMIM como miembro activo del Centro Regional del Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena (SDS-WAS) de la OMM para África del Norte, Oriente Medio y Europa, y centra sus esfuerzos en las observaciones del polvo y en los procesos atmosféricos.

La urgencia de las acciones relacionadas con el estado del clima y el medio ambiente requiere que tanto la opinión pública como las instancias decisorias tengan acceso a la mejor ciencia disponible y a datos de composición atmosférica de alta calidad; en este sentido, el CIAI goza de una gran consideración por la calidad de los datos que proporciona.

Es un placer para mí presentar este informe que resume las múltiples actividades llevadas a cabo por el Centro de Investigación Atmosférica de Izaña. El liderazgo del Centro en materia de investigación y desarrollo con respecto a las técnicas de medición, calibración y validación de última generación, así como la cooperación internacional, le han otorgado una reputación sobresaliente en lo que se refiere al tiempo, el clima, la hidrología y otros temas ambientales afines. Espero que sirva de inspiración a los Miembros para que consideren participar en el programa de la VAG y en otros programas de investigación de la OMM.

Dra. Oksana Tarasova  
*Directora del Programa de Vigilancia de la Atmósfera Global*  
*Departamento de Investigación*  
*Organización Meteorológica Mundial*









## 1 Organización

El Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (CIAI) forma parte de la Dirección de Planificación, Estrategia y Desarrollo Comercial de la Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET). AEMET es una agencia del Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO) de España.

## 2 Misión y antecedentes

El Centro de Investigación Atmosférica de Izaña lleva a cabo actividades de investigación y vigilancia de los componentes atmosféricos capaces de forzar un cambio en el clima de la Tierra (gases de efecto invernadero y aerosoles), un deterioro de la capa de ozono mundial, así como el de aquellos componentes que juegan un papel fundamental en la calidad del aire, tanto a escala local como global. El CIAI es una Unidad Asociada al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) a través del Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA). El objetivo principal de la Unidad Asociada «Grupo para el Estudio de la Contaminación Atmosférica» es realizar investigaciones sobre la calidad del aire atmosférico tanto en entornos rurales como urbanos.

El CIAI ha contribuido al Programa de Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) desde su creación en 1989. El programa de la VAG celebró su 30.º aniversario este año. La VAG integra una serie de actividades de investigación y vigilancia de la OMM en el campo del medio ambiente atmosférico. El objetivo principal de la VAG es proporcionar datos e información adicional sobre la composición química y características físicas relacionadas con la atmósfera, así como sus tendencias, requeridas para mejorar nuestra comprensión sobre el comportamiento de la atmósfera y sus interacciones con el océano y la biosfera.

El Centro de Investigación Atmosférica de Izaña también contribuye a la Red para la detección de cambios en la composición de la atmósfera (NDACC), que constituye una red internacional para la monitorización de la composición atmosférica empleando técnicas de medición remota. En origen, la NDACC fue creada para vigilar los cambios físicos-químicos de la estratosfera, con especial énfasis en la evolución de la capa de ozono y las sustancias responsables de su destrucción, conocidas como «sustancias que agotan la capa de ozono». Los objetivos actuales de la NDACC son observar y entender el estado físico-químico de la alta troposfera y estratosfera y sus procesos de interacción, así como la detección de tendencias a largo plazo de la composición atmosférica. El CIAI también realiza una contribución importante a la OMM a través del Sistema Mundial de Observación del Clima y de la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación (CIMO) en forma de banco de pruebas de la CIMO/OMM para instrumentos de teledetección de aerosoles y vapor de agua.

El Observatorio Atmosférico de Izaña fue inaugurado en su localización actual el 1 de enero de 1916, iniciando una serie de observaciones meteorológicas y climatológicas ininterrumpidas, lo que constituyó un récord de 103 años en 2018. En 1984, el observatorio se convirtió en una estación de la Red de estaciones de control de la contaminación general atmosférica (BAPMoN) de la OMM. En 1989, las redes BAPMoN y GO3OS (Sistema Mundial de Observación del Ozono) se unen para crear el actual Programa de Vigilancia de la Atmósfera Global, del que forma parte el Observatorio Atmosférico de Izaña como una de las 31 estaciones globales de la VAG (figura 2.1). Las estaciones de la red mundial de la VAG actúan como centros de excelencia y realizan una extensa labor de investigación sobre el cambio de la composición atmosférica. El Observatorio Atmosférico de Izaña es un ejemplo fundamental de este tipo de instalaciones de investigación.



Figura 2.1. Estaciones de la red de vigilancia mundial de la VAG de la OMM.

### 3 Instalaciones y resumen de las mediciones

El Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (CIAI) gestiona cuatro observatorios en Tenerife (fig. 3.1, tabla 3.1): 1) el Observatorio Atmosférico de Izaña (IZO); 2) el Observatorio de Santa Cruz (SCO); 3) el Observatorio del Botánico (BTO); y 4) el Observatorio del Pico del Teide (TPO).

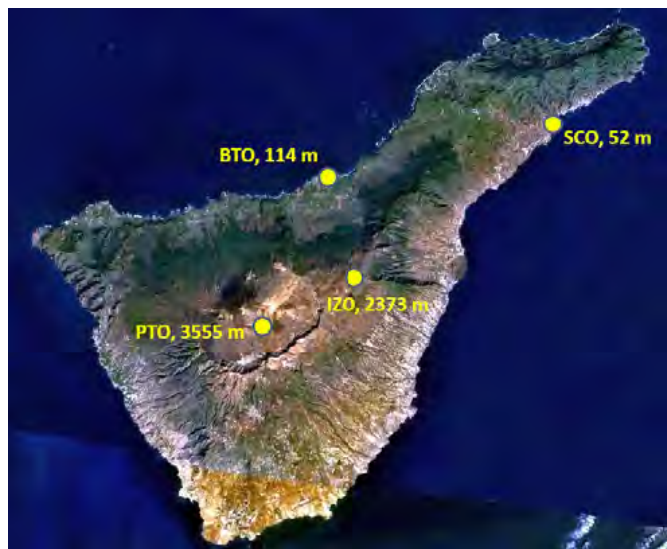


Figura 3.1. Situación de los observatorios del CIAI en Tenerife.

Tabla 3.1. Observatorios del CIAI.

Observatorio	Latitud	Longitud	Altitud (m s.n.m.)
IZO	28,309 °N	16,499 °W	2373
SCO	28,473 °N	16,247 °W	52
BTO	28,411 °N	16,535 °W	114
TPO	28,270 °N	16,639 °W	3555

#### 3.1 Observatorio Atmosférico de Izaña

El Observatorio Atmosférico de Izaña (IZO) se encuentra en la isla de Tenerife (España), a unos 300 km al oeste de la costa africana. El observatorio está situado en una meseta montañosa, a 15 km al noreste del volcán Teide (3718 m s.n.m.) (figs. 3.2 y 3.3). El régimen de vientos locales en el emplazamiento está dominado por los vientos del noroeste. Las condiciones de aire limpio y cielo despejado prevalecen, por lo general, durante todo el año. El IZO suele encontrarse por encima de la capa de inversión térmica, generalmente bien asentada sobre la isla, y por debajo de la rama descendente de la célula de Hadley.



Figura 3.2. Observatorio Atmosférico de Izaña.

En consecuencia, el emplazamiento reúne unas condiciones excelentes para las mediciones *in situ* de gases traza y aerosoles representativas de la troposfera libre y para la observación atmosférica mediante técnicas de teledetección. Las condiciones ambientales y los cielos prístinos resultan óptimos para llevar a cabo las actividades de calibración y validación de los sensores terrestres y espaciales. Por su localización geográfica, el observatorio es especialmente valioso para el estudio del transporte de polvo desde África hasta el Atlántico Norte, del transporte de contaminantes a larga distancia desde las Américas y del transporte a gran escala desde los trópicos hacia latitudes más altas.

Las instalaciones del Observatorio Atmosférico de Izaña constan de tres edificios separados: el edificio principal, inaugurado en 1916; el laboratorio de aerosoles, un pequeño edificio cercano de la misma época que pasó a llamarse «Laboratorio de Aerosoles Joseph M. Prospero» el 8 de abril de 2016; y la torre técnica, completamente reconstruida a principios de 2000, que alberga la mayoría de los instrumentos. En la tabla 3.2 se relacionan los detalles del programa de mediciones del IZO.

El edificio principal tiene dos plantas y ocupa una superficie total de 1420 m<sup>2</sup> albergando las siguientes instalaciones: espacio para oficinas, comedor, cocina, biblioteca, salón de conferencias con sistema audiovisual, sala de reuniones, salas de máquinas y talleres de mecánica y electrónica. Además, dispone de alojamiento residencial para científicos visitantes (siete habitaciones dobles con baño).

La torre técnica es un edificio de siete plantas con una superficie total de 900 m<sup>2</sup> que incluye 20 laboratorios distribuidos entre las diferentes plantas. Todos ellos tienen temperatura controlada. Los detalles de las instalaciones de la torre técnica del IZO figuran en la tabla 3.3.



Figura 3.3. Observatorio Atmosférico de Izaña (2373 m) con el volcán Teide (3718 m) a la derecha de la imagen.

**Tabla 3.2. Programa de mediciones del Observatorio Atmosférico de Izaña (IZO).**

Parámetro	Fecha de inicio	Instrumento actual	Frecuencia de datos
<b>Gases de efecto invernadero y ciclo del carbono</b>			
CO <sub>2</sub>	Jun 1984	NDIR Licor 7000 (instrumento primario)	30 s
		NDIR Licor 6252 (instrumento secundario)	30 s
		CRDS Picarro G2401	30 s
CH <sub>4</sub>	Jul 1984	GC-FID Dani 3800	2 muestras/hora
		GC-ECD Varian 3800	4 muestras/hora
		CRDS Picarro G2401	30 s
N <sub>2</sub> O	Jun 2007	GC-ECD Varian 3800 Los Gatos Research 913-0015	4 muestras/hora
SF <sub>6</sub>	Jun 2007	GC-ECD Varian 3800	4 muestras/hora
CO	Ene 2008	GC-RGD Trace Analytical RGA-3	3 muestras/hora
		CRDS Picarro G2401	30 s
		Los Gatos Research 913-0015	
<b>Gases reactivos <i>in situ</i></b>			
O <sub>3</sub>	Ene 1987	Fotometría UV	
		Teco 49-C (instrumento primario)	1 min
		Teco 49-C (instrumento secundario)	1 min
		Teco 49-I (nuevo instrumento primario)	1 min
CO	Nov 2004	NDIR - Thermo 48C-TL	1 min
SO <sub>2</sub>	Jun 2006	Fluorescencia UV - Thermo 43C-TL	1 min
NO-NO <sub>2</sub> -NO <sub>x</sub>	Jun 2006	Quimioluminiscencia - Thermo 42C-TL	1 min
<b>Ozono total en columna y UV</b>			
O <sub>3</sub> en columna	May 1991	Brewer Mark-III #157 (referencia primaria)	~ 100/día
		Brewer Mark-III #183 (para desarrollos)	~ 100/día
		Brewer Mark-III #185 (referencia itinerante)	~ 100/día
UV espectral: 290-365 nm	May 1991	Brewer Mark-III #157 (referencia primaria)	~ 30 min
		Brewer Mark-III #183 (para desarrollos)	~ 30 min
		Brewer Mark-III #185 (referencia itinerante)	~ 30 min
UV espectral: 290-450 nm	May 1998	Bentham DM 150	Campañas
SO <sub>2</sub> en columna	May 1991	Brewer Mark-III #157 (referencia primaria)	~ 100/día
		Brewer Mark-III #183 (para desarrollos)	~ 100/día
		Brewer Mark-III #185 (referencia itinerante)	~ 100/día
O <sub>3</sub> en columna	Oct 2011	Pandora 101	10 min
		Pandora 121	
NO <sub>2</sub> en columna	Oct 2011	Pandora 101	10 min
		Pandora 121	

**Tabla 3.2 (continuación). Programa de mediciones del Observatorio Atmosférico de Izaña (IZO).**

Parámetro	Fecha de inicio	Instrumento actual	Frecuencia de datos
<b>Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)</b>			
Gases de efecto invernadero, gases reactivos, y sustancias que agotan la capa de ozono (O <sub>3</sub> , HF, HCN, HCl, ClONO <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , HNO <sub>3</sub> , CH <sub>4</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, NO, NO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, HDO, OCS)	Ene 1999 May 2007	Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier Bruker IFS 120/5HR (gestionado conjuntamente con el KIT) Espectros de absorción solar del infrarrojo medio Espectros de absorción solar del infrarrojo cercano	3 días/semana (si las condiciones del tiempo lo permiten)
Isótopos de vapor de agua (δD y δ <sup>18</sup> O)	Mar 2012	Picarro L2120-I δD y analizador δ <sup>18</sup> O	Continua (2 s)
Gases de efecto invernadero, y gases reactivos (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO, H <sub>2</sub> O)	May 2018	Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier Bruker EM27/SUN	3 días/semana (si las condiciones del tiempo lo permiten)
<b>Aerosoles <i>in situ</i></b>			
Composición química del total de partículas en suspensión (PM <sub>T</sub> )	Jul 1987	Muestreador de alto volumen personalizado MVC <sup>TM</sup> /MCZ <sup>TM</sup> En el CSIC se determinaron las concentraciones de especies solubles por cromatografía de iones (Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> y SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) y colorimetría FIA (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), elementos principales (Al, Ca, K, Na, Mg y Fe) y oligoelementos por ICP-AES e ICP-MS	Muestreo de 8 h por la noche
Composición química de las partículas PM <sub>2,5</sub>	Abr 2002	Muestreador de alto volumen personalizado MVC <sup>TM</sup> /MCZ <sup>TM</sup>	Muestreo de 8 h por la noche
Composición química de las partículas PM <sub>10</sub>	Ene 2005	Muestreador de alto volumen personalizado MVC <sup>TM</sup> /MCZ <sup>TM</sup>	Muestreo de 8 h por la noche
Número de partículas > 3 nm	Nov 2006*	TSI <sup>TM</sup> , UCPC 3025A	1 min
Número de partículas > 2,5 nm	Dic 2012	TSI <sup>TM</sup> , UCPC 3776	1 min
Número de partículas > 10 nm	Dic 2012	TSI <sup>TM</sup> , CPC 3010	1 min
Distribución tamaños 10-400 nm	Nov 2006	TSI <sup>TM</sup> , clase 3080 + CPC 3772	5 min
Distribución tamaños 0,7-20 μm	Nov 2006	TSI <sup>TM</sup> , APS 3321	10 min
Coeficiente de absorción a 1 λ	Nov 2006	Thermo <sup>TM</sup> , MAAP 5012	1 min
Atenuación a 7 λ	Jul 2012	Magee <sup>TM</sup> , etalómetro AE31-HS	1 min
Coeficiente de dispersión a 3 λ	Jun 2008	TSI <sup>TM</sup> , nefelómetro de integración 3653	1 min
Concentración de PM <sub>10</sub>	Dic 2015	Thermo, Beta 5014i	5 min
Concentraciones de PM <sub>2,5</sub> y PM <sub>2,5-10</sub>	Dic 2015	Thermo, Teom 1405DF	6 min

\* Desde junio de 2017 no está operativo.



**Tabla 3.2 (continuación). Programa de mediciones del Observatorio Atmosférico de Izaña (IZO).**

Parámetro	Fecha de inicio	Instrumento actual	Frecuencia de datos
<b>Aerosoles en columna</b>			
AOD y Ångström a 415, 499, 614, 670, 868 y 936 nm	Feb 1996	Radiómetro de filtros múltiples con banda de sombra giratoria (MFRSR) Yes	1 min
AOD y Ångström a 340, 380, 440, 500, 675, 870, 936 y 1020 nm	Mar 2003	Fotómetro solar Cimel CE318	~ 15 min
AOD finos/gruesos Fracción del modo fino	Mar 2003	Fotómetro solar Cimel CE318	~ 15 min
Propiedades ópticas	Mar 2003	Fotómetro solar Cimel CE318	~ 1 h
AOD y Ångström durante el periodo nocturno	Jul 2012	Fotómetro solar, celeste y lunar Cimel CE318-T	~ 15 min durante las fases lunares
AOD y Ångström a 368, 412, 500 y 862 nm	Jul 2001	Radiómetro de filtro de precisión (PFR) del CRM	1 min
AOD a 769,9 nm	Jul 1976	MARK-I (en el IAC)	AOD a 769,9 nm
Extinción de la retrodispersión vertical a 523 nm, altura y espesor de las nubes	Oct 2018	Lidar micropulsado MPL-3, SES Inc. (EE.UU.) (gestionado conjuntamente con el INTA (www.inta.es))	1 min
<b>Radiación</b>			
Radiación global 285-2600 nm	Ene 1977	2 piranómetros Kipp & Zonen CM-21 y CM-11 (en paralelo) y Eko MS-801	1 min
Radiación global 300-1100 nm	Feb 1996	MFRSR Yes	1 min
Radiación directa estimada	Feb 1996	MFRSR Yes	1 min
Radiación directa 200-4000 nm	Ago 2005	2 pirheliómetros Kipp & Zonen CH-1 y Eko MS-56	1 min
Radiación directa 200-4000 nm	Jun 2014	Pirheliómetro de cavidad absoluta PMO6	Campañas de calibración (1 min)
Radiación espectral directa	Dic 2016	Espectrorradiómetro Eko MS-711	5 min
Radiación difusa	Feb 1996	MFRSR Yes	1 min
Radiación difusa 285-2600 nm	Ago 2005	2 piranómetros Kipp & Zonen CM-21 (en paralelo) y Eko MS-801	1 min
Radiación de onda larga hacia abajo 4,5-42 $\mu$ m	Mar 2009	2 pirogeómetros Kipp & Zonen CG-4 (en paralelo)	1 min
Radiación UVB 315-400 nm	Ago 2005	2 piranómetros Yankee Yes UVB-1 (en paralelo)	1 min
Radiación UVA 280-400 nm	Mar 2009	Radiómetros UVS-A-T	1 min
PAR 400-700 nm	Ago 2005	Piranómetro K&Z PQS1	1 min
Radiación neta	Nov 2016	Radiómetro neto Eko MR-60	1 min

**Tabla 3.2 (continuación). Programa de mediciones del Observatorio Atmosférico de Izaña (IZO).**

Parámetro	Fecha de inicio	Instrumento actual	Frecuencia de datos
<b>Espectroscopía de absorción óptica diferencial (DOAS) (gestionada por el INTA)</b>			
NO <sub>2</sub> en columna	May 1993	UV-VIS DOAS EVA y MAXDOAS Rasas II (fabricado en el INTA; www.inta.es)	Cada ~ 3 min durante el crepúsculo
O <sub>3</sub> en columna	Ene 2000	UV-VIS MAXDOAS Rasas II (fabricado en el INTA)	Cada ~ 3 min durante el crepúsculo
BrO en columna	Ene 2002	UV-VIS MAXDOAS Artist II (fabricado en el INTA)	Cada ~ 3 min durante el crepúsculo
O <sub>3</sub> troposférico	May 2010	UV-VIS MAXDOAS Rasas II (fabricado en el INTA)	Cada ~ 3 min durante el crepúsculo
NO <sub>2</sub> troposférico	May 2010	UV-VIS MAXDOAS Rasas II (fabricado en el INTA)	Cada ~ 3 min durante el crepúsculo
IO troposférico	May 2010	UV-VIS MAXDOAS Rasas II (fabricado en el INTA)	Cada ~ 3 min durante el crepúsculo
HCHO en columna	Ene 2015	UV-VIS MAXDOAS Artist II (fabricado en el INTA)	Cada ~ 3 min durante el crepúsculo
<b>Vapor de agua en columna</b>			
Vapor de agua precipitable (PWV)	Feb 1996	Radiómetro MFRSR-7 Yes (941 nm)	1 min
PWV	Jul 2008	Receptor GPS-GLONASS Leica	15 min (órbitas ultrarrápidas) y 1 h (órbitas precisas)
Humedad relativa en la vertical	Dic 1963	Vaisala RS-92	Diaria a 00y 12 UTC
PWV	Mar 2003	Fotómetro solar Cimel CE318	~ 15 min
PWV	Ene 1999	Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier	3 días/semana con cielo despejado
<b>Meteorología</b>			
Temperatura	Ene 1916	Thies Clima 1.1005.54.700 3 Vaisala HMP45C (en paralelo) Vaisala PTU300 Termohigrógrafo Thies Clima 1.0620.00.000 Campbell Scientific CS215 (en la azotea de la torre)	1 min 1 min 1 min Continua 1 min
Humedad relativa	Ene 1916	Thies Clima 1.1005.54.700 3 Vaisala HMP45C (en paralelo) Vaisala PTU300 Termohigrógrafo Thies Clima 1.0620.00.000 Campbell Scientific CS215 (en la azotea de la torre)	1 min 1 min 1 min Continua 1 min
Dirección y velocidad del viento	Ene 1916	Delta Ohm Sonic 3D HD2003 Young Wind Monitor HD Alpine 05108-45 Young Wind Monitor HD Alpine 05108-45 Young Wind Monitor HD Alpine 05108-45 (en la azotea de la torre)	1 min 1 min 1 min 1 min

**Tabla 3.2 (continuación). Programa de mediciones del Observatorio Atmosférico de Izaña (IZO).**

Parámetro	Fecha de inicio	Instrumento actual	Frecuencia de datos
<b>Meteorología (continuación)</b>			
Presión	Ene 1916	Setra 470 Vaisala PTU300 Barógrafo Belfort 5/800AM/1 Setra 470 (en la azotea de la torre)	1 min 1 min Continua 1 min
Precipitación	Ene 1916	Thies Clima basculante Thies Clima basculante Pluviómetro de Hellman Pluviógrafo de Hellman	1 min 1 min Diaria Continua
Duración de la insolación	Ago 1916	Kipp & Zonen CSD3 Heliógrafo de Campbell Stokes	10 min Continua
Tiempo presente y visibilidad	Jul 1941	Drisdrómetro Thies Clima Biral 10HVJS	10 min 10 min
Perfiles verticales de T, HR, P, dirección y velocidad del viento, desde el nivel del mar hasta una altitud de ~ 30 km	Dic 1963	Radioondas RS92+GPS lanzadas desde la estación automática de radiosondeos de Güímar (estación #60018 de la red ROAS de la OMM) (gestionada por el Centro Meteorológico de Santa Cruz de Tenerife)	Diaria a 00 y 12 UTC
Temper. de la superficie del suelo	Ene 1953	2 Thies Clima Pt100 (en paralelo)	10 min
Temperatura del suelo (20 cm)	Ene 2003	2 Thies Clima Pt100 (en paralelo)	10 min
Temperatura del suelo (40 cm)	Ene 2003	2 Thies Clima Pt100 (en paralelo)	10 min
Campo eléctrico de la atmósfera	Abr 2004	Variómetro del campo eléctrico Previstorm-Ingesco	10 s
Descargas eléctricas atmosféricas	Abr 2004	Detector de descargas Boltek LD-350	1 min
Nubosidad	Sep 2008	Cámara de todo cielo Sieltec Canarias S. L. Sona	5 min
Niebla-precipitación	Nov 2009	Thies Clima basculante con malla de 20 cm <sup>2</sup> Pluviómetro de Hellman con malla de 20 cm <sup>2</sup>	1 min Diaria
Nubosidad marina	Nov 2010	Cámara Axis: panorámica oeste (valle de La Orotava) Cámara Axis: panorámica sur (jardín meteorológico) Cámara Axis: panorámica norte Cámara Axis: panorámica este (valle de Güímar)	5 min 5 min 5 min 5 min
Distribución de tamaño de gotas y velocidad de caída de los hidrometeoros	May 2011	OTT Parsivel de OTT Messtechnik	1 min
<b>Aerobiología</b>			
Polen y esporas	Jun 2006	Captador de esporas VPPS 2000 del tipo Hirst con registrador de 7 días (Lanzoni s.r.l.). Análisis realizado con microscopio óptico de 600 aumentos en el Laboratorio de Análisis Palinológicos de la Universidad Autónoma de Barcelona	Continua (resolución de 1 h) de abril a octubre
<b>Fenología</b>			
Aparición de inflorescencias, apariencia de botones florales, floración y desarrollo de frutos según la escala BBCH para 7 taxones	Ene 2014	Inspección/conteo visual	Semanal durante la estación de crecimiento, y mensual, el resto del año

**Tabla 3.3. Instalaciones de la torre técnica del Observatorio Atmosférico de Izaña.**

Planta	Instalaciones	Descripción
<b>Planta baja</b>	Taller mecánico	Sala de 33 m <sup>2</sup> con las herramientas necesarias para hacer reparaciones mecánicas en primera instancia.
	Taller electrónico	Sala de 25 m <sup>2</sup> equipada con osciloscopios, fuentes de alimentación, multímetros, sistemas de soldadura, etc. para hacer reparaciones electrónicas en primera instancia.
	Sistema de calefacción	Sistema central de calefacción y agua caliente de 90 kW.
	Sistema de aire acondicionado	Sistema central de aire acondicionado para laboratorios.
	Sala de máquinas: generadores de respaldo	Cuadro eléctrico general y dos generadores de respaldo de arranque automático (400 kV A y 100 kV A, respectivamente).
	Sala de UPS (fuente de alimentación continua)	Fuente de alimentación continua principal del Observatorio (40 kVA redundante) utilizada para asegurar la potencia de los equipos dentro del edificio y una fuente adicional (10 kV A) para el equipo exterior.
	Sala de compresores	Sala con compresores de aire limpios y sin de aceite utilizados para el llenado de cilindros de calibración. También contiene las bombas generales para las entradas de muestras del este y oeste.
	Almacén / Sistema central de suministro de gas	Almacén de 30 m <sup>2</sup> autorizado para cilindros a presión. Sistema central para suministro de gas de alta pureza (H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , Ar/CH <sub>4</sub> ) y aire sintético.
	Ascensor	6 plantas. No hay ascensor para acceder a la azotea.
<b>Primera</b>	Sala de archivo	Archivo de bandas y registros históricos.
	Almacén de equipos técnicos	Repuestos para el equipamiento técnico del Observatorio.
	Sala de reuniones	Sala de reuniones con capacidad para 8 personas.
<b>Segunda</b>	Instalación de calibración óptica	Cuarto oscuro de 30 m <sup>2</sup> para configurar calibraciones de irradiancia absoluta vertical y horizontal, radiancia absoluta, respuesta angular y respuesta espectral.
	Laboratorio T2.1	Laboratorio de 10 m <sup>2</sup> con acceso a la entrada de muestras del oeste.
	Laboratorio T2.2	Laboratorio de 9 m <sup>2</sup> con acceso a la entrada de muestras del este.
	Laboratorio T2.3	Laboratorio de 13 m <sup>2</sup> con analizador Picarro L2120-I δD y δ <sup>18</sup> O con acceso a la entrada de muestras del este.
<b>Tercera</b>	Laboratorio de gases de efecto invernadero	70 m <sup>2</sup> compartidos en dos laboratorios que albergan analizadores de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> y CO con acceso a las entradas de muestras del este y oeste.
<b>Cuarta</b>	Laboratorios multiusos	Tres laboratorios con acceso a las entradas de muestras del este y oeste.
<b>Quinta</b>	Laboratorio de gases reactivos	Laboratorio de 10 m <sup>2</sup> con analizadores de NO-NO <sub>2</sub> , CO y SO <sub>2</sub> con acceso a la entrada de muestras del oeste.
	Sala de comunicaciones	Sala de servidores y conexión wifi con la sede de Santa Cruz de Tenerife.
	Laboratorio Brewer	Laboratorio de 20 m <sup>2</sup> para las campañas Brewer.
<b>Sexta</b>	Laboratorio de ozono superficial	Laboratorio de 10 m <sup>2</sup> con analizadores de O <sub>3</sub> de superficie con acceso a la entrada de muestras del oeste.
	Laboratorio de fotometría solar	Taller de mantenimiento de 10 m <sup>2</sup> para fotómetros solares.
	Laboratorio de espectrorradiómetros	Laboratorio de 25 m <sup>2</sup> con dos MAX DOAS y dos espectrorradiómetros conectados con fibra óptica.
<b>Azotea</b>	Terraza con instrumentos	Terraza plana de 160 m <sup>2</sup> , con visión libre hasta el horizonte, que alberga instrumentos de exterior, tomas de muestras del este y oeste, y medidores de viento, presión, temperatura y humedad.



En la planta baja de la torre técnica hay dos espacios de almacenamiento, uno para cilindros a presión (probados y certificados en el Consejo Regional de Industria de Canarias) y otro para llenado de cilindros mediante compresores de aire sin aceite. En esta planta también se encuentra el sistema central para el suministro de gases de alta pureza ( $H_2$ ,  $N_2$ ,  $Ar/CH_4$ ) y aire sintético a los diferentes laboratorios. En el segundo piso hay un cuarto oscuro con los montajes de calibración necesarios para los instrumentos de radiación del IZO. En la parte superior de la torre técnica hay una terraza plana de 160 m<sup>2</sup>, con visión libre hasta el horizonte, para la instalación de instrumentos científicos al aire libre que necesitan radiación solar o lunar. También cuenta con las entradas de muestras del este y oeste que suministran el aire ambiente necesario para los analizadores de gases traza *in situ* instalados en diferentes laboratorios.

El «Laboratorio de Aerosoles Joseph M. Prospero» es un edificio de 40 m<sup>2</sup> que se utiliza como laboratorio para realizar mediciones de aerosoles *in situ*. Cuenta con cuatro entradas de muestras conectadas a analizadores de aerosoles. Pueden verse más detalles en la sección 8. En el exterior del IZO se encuentran las siguientes instalaciones: 1) una plataforma plana de 160 m<sup>2</sup>, con visión libre hasta el horizonte, con comunicaciones y fuentes de alimentación continua para las campañas de medición sobre el terreno; 2) el jardín meteorológico, que contiene dos estaciones meteorológicas totalmente automáticas (una de ellas la estación SYNOP y la segunda para investigación meteorológica), medidores meteorológicos manuales, una cámara de todo cielo, un receptor GPS/GLONASS, un detector de descargas eléctricas y un variómetro del campo eléctrico; y 3) la cabina de vigilancia del cielo con cuatro cámaras para observar las nubes con los servidores correspondientes. Las siguientes secciones ofrecen más detalles de algunas de las instalaciones situadas en el IZO.

### 3.1.1 Laboratorio de calibración óptica

La instalación de calibración óptica del IZO se ha desarrollado en el marco del «Convenio específico de colaboración entre la Universidad de Valladolid y el CIAI de AEMET para establecer metodologías y sistemas de aseguramiento de la calidad para programas de fotometría, radiometría, ozono atmosférico y aerosoles dentro del programa de vigilancia atmosférica de la Organización Meteorológica Mundial». El objetivo principal de la instalación de calibración óptica es llevar a cabo una evaluación del aseguramiento y control de la calidad para los instrumentos de radiación solar involucrados en los programas sobre ozono, aerosoles, radiación y vapor de agua del CIAI. Las ocho configuraciones disponibles son las siguientes:

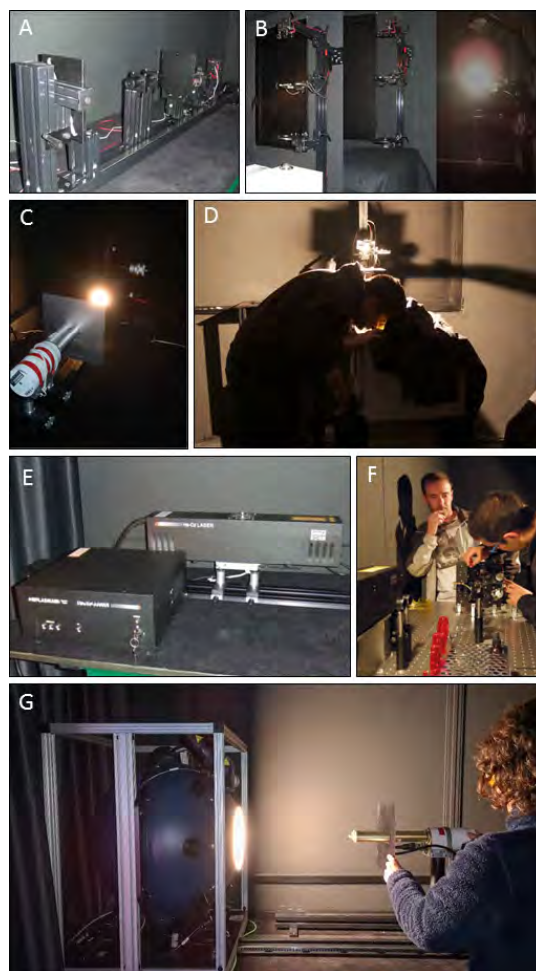
1) Montaje para calibrar la irradiancia absoluta mediante lámparas estándar calibradas en una posición orientada horizontalmente, adecuada para radiómetros pequeños (fig. 3.4A). El proceso de calibración absoluta en irradiancia consiste en el uso de un conjunto de lámparas de tipo FEL (1000 W) trazables al estándar de irradiancia primario del Instituto Nacional de Metrología de Alemania (PTB).

2) Montaje para calibrar la irradiancia absoluta mediante lámparas estándar calibradas en una posición orientada verticalmente, adecuada para espectrofotómetros relativamente grandes (fig. 3.4B). La base de la escala de irradiancia absoluta consiste

en un conjunto de lámparas de tipo DXW (1000 W) trazables al estándar de irradiancia primario del PTB.

3) Montaje para calibrar la radiancia absoluta mediante una esfera de integración calibrada (fig. 3.4C). El sistema es trazable al estándar de la Red Robótica de Aerosoles (AERONET) del Centro de Vuelos Espaciales Goddard (Washington, Estados Unidos de América). Esta configuración la utilizan varios instrumentos, sobre todo los fotómetros solares de Cimel.

4) A finales de 2017, en el marco de una convocatoria de infraestructuras científicas competitivas del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica de España, se instaló en Izaña una nueva esfera de integración para llevar a cabo las calibraciones de radiancia absoluta de AERONET Europa así como para realizar las pruebas ópticas necesarias para el aseguramiento y control de la calidad de los instrumentos de referencia. La nueva esfera de integración tiene un diámetro de 20 pulgadas, una apertura de 8 pulgadas y una potencia de 400 W (fig. 3.4G). Este sistema también es trazable al estándar de AERONET del Centro de Vuelos Espaciales Goddard.



**Figura 3.4.** Imágenes del laboratorio de calibración óptica del IZO. A) Montaje para la calibración de la irradiancia absoluta horizontal, B) tres fases de la calibración de la irradiancia en los Brewer con el montaje vertical, C) calibración de la radiancia absoluta de un Cimel CE318, D) determinación de la función de respuesta angular de un Brewer, E) montaje para la determinación de la función de rendija, F) alineación de la óptica de un espectrofotómetro Brewer y G) calibración de la radiancia absoluta de un Cimel CE318.

5) Montaje para calibrar la respuesta angular (fig. 3.4D). Se utiliza para cuantificar las desviaciones de la respuesta angular del radiómetro con respecto a una respuesta coseno ideal. La función de respuesta angular relativa se mide girando el brazo mecánico donde se encuentra la lámpara estacionada de 1000 W de tipo DXW. La rotación sobre  $\pm 90^\circ$  está controlada por un motor de pasos con una precisión de  $0,01^\circ$  cuando el instrumento se ilumina por el haz de luz uniforme y paralelo de la lámpara.

6) Montaje para calibrar la respuesta espectral. Se utiliza para cuantificar la respuesta espectral del radiómetro. La luz es dispersada por un monocromador doble Optronic OL 750 dentro del rango de 200 a 1100 nm con una precisión de 0,1 nm. Una fuente de luz OL 740-20 colocada delante de la rendija de entrada actúa como fuente de radiación; se dispone de dos lámparas: UV (200-400 nm) y tungsteno (250-2500 nm).

7) Montaje para determinar la función de rendija (fig. 3.4E). La caracterización de la función de rendija se realiza iluminando la rendija de entrada del espectrofotómetro con la luz monocromática de un láser VM-TIM He-Cd. La longitud de onda nominal del láser es de 325 nm, su potencia es de 6 mW y su diámetro de haz es de 1,8 mm.

8) Montaje para alinear la óptica del espectrofotómetro Brewer (fig. 3.4F). Es adecuado para realizar ajustes de la óptica sin necesidad de enviar el instrumento al fabricante.

### 3.1.2 Sistema *in situ* utilizado para producir patrones de trabajo que contienen aire natural

La VAG necesita una gran exactitud en las mediciones de la fracción molar de los gases de efecto invernadero atmosférico (GEI) y un vínculo directo con los estándares primarios de la OMM mantenidos por los laboratorios centrales de calibración de GEI de la VAG, la mayoría de los cuales se encuentran en la División de vigilancia mundial (GMD) del Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre (ESRL) del Organismo Nacional

para el Estudio de los Océanos y la Atmósfera (NOAA). Para cumplir con estos requisitos, el CIAI utiliza estándares de laboratorio preparados (utilizando aire natural) y calibrados por la GMD/ESRL/NOAA. De hecho, los estándares de laboratorio utilizados en el CIAI son estándares terciarios de la OMM.

Sin embargo, debido a que el consumo de gases estándar y de referencia por parte de los sistemas de medición de GEI del CIAI es relativamente alto, se utiliza un nivel adicional de gases estándar (patrones de trabajo) preparados con aire natural.

Estos patrones de trabajo se preparan en el IZO utilizando un sistema *in situ* (fig. 3.5) y luego se calibran frente a los estándares de laboratorio empleando los sistemas de medición de GEI del CIAI. El sistema usado para llenar los cilindros de alta presión (hasta 120-130 bares) con aire natural seco, toma aire ambiente limpio de una entrada situada en la parte superior de la torre del IZO (30 m sobre el suelo) y lo bombea (usando un compresor sin aceite) en el interior de los cilindros después de secarlo (con perclorato de magnesio), logrando una fracción molar de  $H_2O$  inferior a 3 ppm.

Además, es posible modificar ligeramente la fracción molar de  $CO_2$  del aire natural bombeado dentro de los cilindros. Con este fin, el aire de un cilindro que contiene aire natural con una fracción molar nula de  $CO_2$  (preparado usando el mismo sistema pero agregando un captador absorbente de  $CO_2$ ) o una pequeña cantidad de gas de un cilindro de púas de  $CO_2$  (5 % de  $CO_2$  en  $N_2/O_2/Ar$ ) se agrega al cilindro que se está llenando, sin afectar a la técnica de espectroscopía de absorción láser de anillo descendente de cavidad (CRDS). Este sistema es similar al utilizado por la GMD/ESRL/NOAA para preparar los estándares secundarios y terciarios de la OMM, y se gestiona y opera en el IZO a través de un subcontratista (Air Liquide Canarias). Los patrones de trabajo elaborados se utilizan principalmente en el programa de medición de GEI, pero algunos de ellos se emplean para otros fines; por ejemplo, aire natural para un analizador de CRDS de isótopos de  $H_2O$  situado en el pico del Teide y para un analizador NDIR de CO localizado en el SCO.

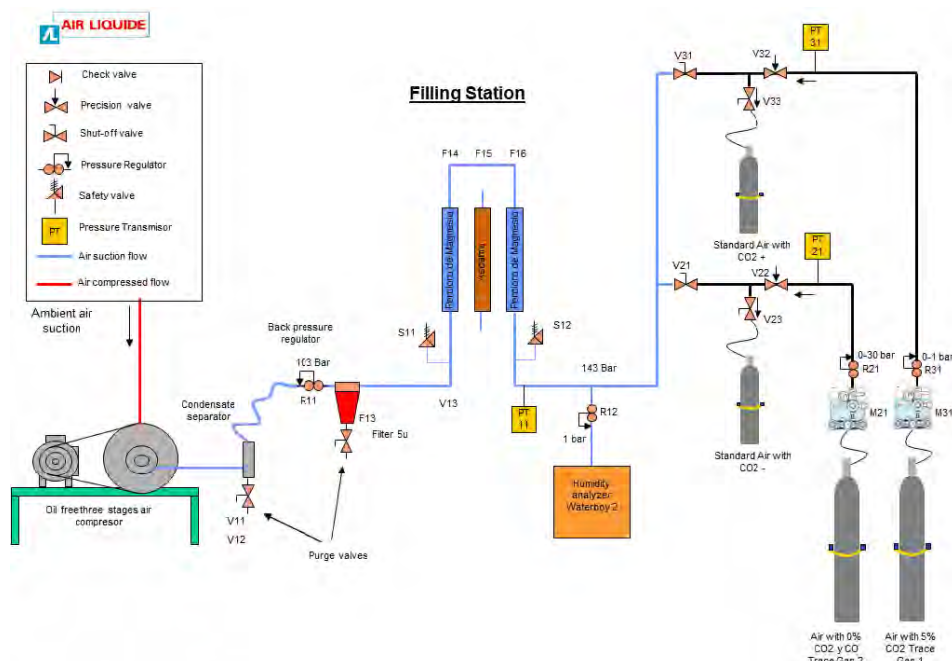


Figura 3.5. Sistema *in situ* utilizado en el IZO para producir patrones de trabajo que contienen aire natural.



### 3.1.3 Sistema central de suministro de gas

En la planta baja de la torre del IZO hay un sistema central de gas con el fin de suministrar gases cromatográficos a los diferentes instrumentos. Esta instalación central proporciona con alta pureza:  $N_2$  (utilizado como gas portador para los GC-FID y para el analizador de CRDS de isótopos de  $H_2O$  del IZO), aire sintético (utilizado como oxidante en los FID, como gas portador en el GC-RGD, como gas portador en el analizador de CRDS de isótopos de  $H_2O$  del IZO, y como aire de dilución empleado en las calibraciones de los instrumentos de gases reactivos), 95% Ar / 5%  $CH_4$  (utilizado como gas portador para el GD-ECD) y  $H_2$  (usado como combustible en los FID). Esta instalación es gestionada por un subcontratista (Air Liquide Canarias), que también proporciona los gases cromatográficos. El analizador de CRDS de isótopos de  $H_2O$  situado en el pico del Teide tiene su propio suministro de  $N_2$  de alta pureza. Los analizadores de gases reactivos localizados en el SCO cuentan con su propio suministro dedicado de aire sintético de alta pureza (utilizado como aire de dilución en las calibraciones).

Además, en el IZO se utilizan otros gases (proporcionados por el mismo subcontratista):  $CO_2$  de alta pureza para la calibración de un nefelómetro para aerosoles,  $N_2O$  de alta pureza para la monitorización de las formas de las líneas instrumentales de la FTIR,  $N_2$  líquido para crioenfriar los detectores de la FTIR, y estándares de gases concentrados y calibrados en  $N_2$  (19,4 ppm NO y 19,4 ppm  $NO_3$ , 1,01 ppm CO, 1,04 ppm CO, 99,9 ppm CO, 102 ppm  $SO_2$  y 1 ppm  $SO_2$ ) para la calibración de los instrumentos del programa de gases reactivos.

### 3.1.4 Modificaciones y mejoras en las instalaciones del IZO llevadas a cabo en 2017-2018

En 2018, el antiguo centro de transformación de energía fue renovado y convertido en la nueva instalación lidar (fig. 3.6), donde se montó el dispositivo lidar de la marca Cimel. Se instaló un nuevo segundo generador de energía (100 kV A) como respaldo del generador de energía principal.

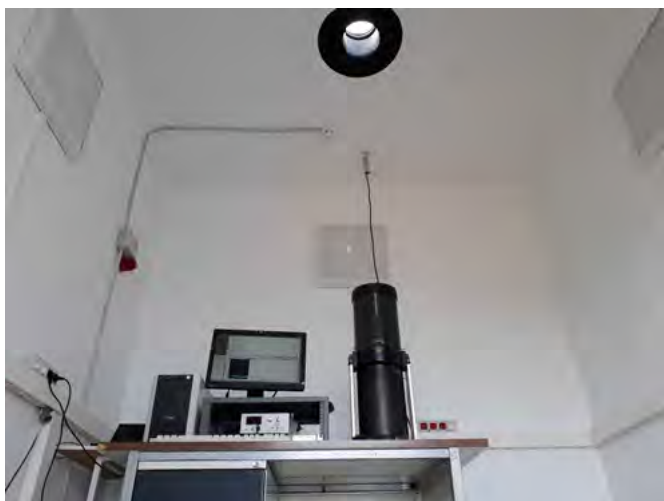


Figura 3.6. Nueva instalación lidar en el IZO.

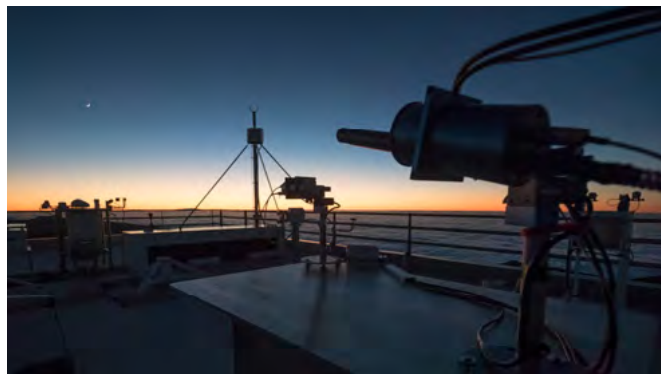


Figura 3.7. Imágenes de la terraza con instrumentos y de la torre técnica del IZO.

## 3.2 Observatorio de Santa Cruz

El Observatorio de Santa Cruz de Tenerife (SCO) está situado en la azotea de la sede del CIAI, a 52 m s.n.m., en la capital de la isla (Santa Cruz de Tenerife), cerca del puerto de la ciudad (figs. 3.8 y 3.9). En la tabla 3.4 se muestran los detalles del programa de mediciones del SCO.



**Figura 3.8. Terraza con instrumentos en el Observatorio de Santa Cruz: radiómetro ZEN-41-R (en primer plano), fotómetro Cimel AERONET, instrumentos de radiación montados en el seguidor solar y el muestreador de polen del tipo Hirst (al fondo).**

Este observatorio tiene dos objetivos principales: 1) ofrecer información de la contaminación urbana de fondo para la investigación atmosférica y las interacciones con el transporte de contaminación de largo alcance impulsado por los vientos alisios o las intrusiones de polvo sahariano; y 2) realizar programas de medición complementarios a los llevados a cabo en el IZO. La sede del CIAI incluye las siguientes instalaciones:

- Un laboratorio de gases reactivos ( $O_3$  superficial,  $NO-NO_2$ ,  $CO$  y  $SO_2$ ).
- Un laboratorio de lidar micropulsado (MPL) y un ceilómetro VL-51.
- Un laboratorio para secar y pesar filtros de muestreadores de aerosoles de alto y bajo volumen.
- Un laboratorio para la preparación de ozonosondas.
- Una terraza plana de  $25\text{ m}^2$ , con visión libre hasta el horizonte, para instrumentos de radiación y tomas de aire.



**Figura 3.9. Analizadores de calidad del aire en el laboratorio del SCO (izquierda), y Ramón Ramos y Pedro Miguel Romero (derecha) con el ceilómetro Vaisala CL-51 en la terraza del SCO.**

### 3.2.1 Laboratorio de filtros de aerosoles

El laboratorio de filtros de aerosoles está equipado con una microbalanza de autocalibración (Mettler Toledo XS105DU) con una resolución de  $0,01\text{ mg}$ , un juego de pesos patrón y un horno que alcanza los  $300\text{ }^\circ\text{C}$ . Los filtros se pesan después del acondicionamiento de temperatura y humedad siguiendo los requisitos de las normas EN-14907. Este procedimiento de pesaje de filtros se utiliza para determinar las concentraciones del total de partículas en suspensión,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  y  $PM_1$  mediante métodos normalizados. Los filtros se acondicionan a  $20\text{ }^\circ\text{C}$  y a una humedad relativa fija (50% HR para estudios de calidad del aire y 30% HR para estudios de investigación) dentro de una cámara de metacrilato, que también contiene la balanza utilizada para pesar los filtros (fig. 3.10).



**Figura 3.10. Laboratorio de filtros de aerosoles: cámara con control de temperatura y de humedad relativa.**

**Tabla 3.4. Programa de mediciones del Observatorio de Santa Cruz (SCO).**

Parámetro	Fecha de inicio	Instrumento actual	Frecuencia de datos
<b>Gases reactivos <i>in situ</i></b>			
O <sub>3</sub>	Nov 2004	Fotometría UV - Teco 49-C	1 min
CO	Mar 2006	NDIR abs - Thermo 48C-TL	1 min
SO <sub>2</sub>	Mar 2006	Fluorescencia UV - Thermo 43C-TL	1 min
NO-NO <sub>2</sub> -NO <sub>x</sub>	Mar 2006	Quimioluminiscencia - Thermo 42C-TL	1 min
<b>Ozono y UV (gestionados por el Servicio de Redes Especiales en el cercano Centro Meteorológico de AEMET)</b>			
O <sub>3</sub> en columna	Oct 2000	Brewer Mark-II #33	> ~ 20/día
UV espectral	Oct 2000	Brewer Mark-II #33	~ 30 min
SO <sub>2</sub>	Oct 2000	Brewer Mark-II #33	~ 30 min
<b>Aerosoles en columna</b>			
AOD y Ångström a 340, 380, 440, 500, 675, 870, 936 y 1020 nm	Jul 2004	Fotómetro solar Cimel CE318	~ 15 min
AOD finos/gruesos	Jul 2004	Fotómetro solar Cimel CE318	~ 15 min
Extinción de la retrodispersión vertical a 523 nm, altura y espesor de las nubes	Nov 2005	Lidar micropulsado MPL-3, SES Inc. (EE.UU.) (cogestionado con el INTA ( <a href="http://www.inta.es">www.inta.es</a> )) <i>MPL-3 instalado en el IZO en octubre de 2018</i>	1 min
Extinción de la retrodispersión vertical a 910 nm, altura y espesor de las nubes	Ene 2011	Ceilómetro Vaisala CL-51	1 min
Extinción de la retrodispersión vertical a 500 y 800 nm, altura y espesor de las nubes (con canales de depolarización)	Dic 2015	Lidar Cimel CE376	1 min
Extinción de la retrodispersión vertical a 532 nm, altura y espesor de las nubes	May 2018	Lidar micropulsado MPL-4B, proporcionado por el Centro de Vuelos Espaciales Goddard de la NASA MPLNET	1 min
<b>Radiación</b>			
Radiación global	Feb 2006	Piranómetro Kipp & Zonen CM-11	1 min
Radiación directa	Feb 2006	Piheliómetro Eppley	1 min
Radiación difusa	Feb 2006	Piranómetro Kipp & Zonen CM-11	1 min
Radiación UVB	Ago 2011	Piranómetro Yankee Yes UVB-1 (gestionado por el Servicio de Redes Especiales en el cercano Centro Meteorológico de AEMET)	1 min



**Tabla 3.4 (continuación). Programa de mediciones del Observatorio de Santa Cruz (SCO).**

Parámetro	Fecha de inicio	Instrumento actual	Frecuencia de datos
<b>Vapor de agua en columna</b>			
Humedad relativa en la vertical	Dic 1963	Vaisala RS-92	Diaria a 00 y 12 UTC
Vapor de agua precipitable (PWV)	Mar 2003	Fotómetro solar Cimel CE318	~ 15 min
PWV	Ene 2009	Receptor GPS-GLONASS GRX1200PRO	15 min (órbitas ultrarrápidas) y 1 h (órbitas precisas)
PWV (columna total) sobre el SCO con cielo despejado Alturas de la base de las nubes sobre el SCO con cielo nublado	Ene 2014	1 sensor de temperatura del cielo Sieltec (prototipo de termómetro infrarrojo)	Cada 30 s durante el día completo
<b>Meteorología*</b>			
Perfiles verticales de T, HR, P, dirección y velocidad del viento, desde el nivel del mar hasta una altitud de ~ 30 km	Dic 1963	Radiosondas RS92+GPS lanzadas desde la estación automática de radiosondeos de Güímar (estación #60018 de la red ROAS de la OMM) (gestionada por el Centro Meteorológico de Santa Cruz de Tenerife)	Diaria a 00 y 12 UTC
Temperatura	Ene 2002	Vaisala HMP45C	1 min
Humedad relativa	Ene 2002	Vaisala HMP45C	1 min
Dirección y velocidad del viento	Ene 2002	RM Young Wind Sentry 03002	1 min
Presión	Ene 2002	Vaisala PTB100A	1 min
Precipitación	Ene 2002	Thies Clima basculante	1 min
<b>Aerobiología</b>			
Polen y esporas	Oct 2004	Captador de esporas VPPS 2000 del tipo Hirst con registrador de 7 días (Lanzoni s.r.l.)	Continua (resolución de 1 h)

\* También se dispone de datos meteorológicos de la sede del Centro Meteorológico de Santa Cruz de Tenerife, a 1 km de distancia, desde 1922.

### 3.2.2 El laboratorio de ozonosondas

En el laboratorio de ozonosondas del SCO se lleva a cabo la preparación avanzada del sensor de ozono ECC de Science Pump Corporation (SPC) (modelo ECC-6A) junto con la radiosonda digital Vaisala RS92 y la interfaz digital. En este laboratorio se almacenan consumibles como radiosondas, interfaces, ozonosondas, productos químicos para preparar las disoluciones de las ozonosondas, jeringas, agujas, guantes de protección y agua tridestilada.

Para la preparación de la ozonosonda se utiliza la unidad de prueba (ozonizador) modelo TSC-1 de SPC, que ha sido diseñada para acondicionar las ozonosondas ECC con ozono y para comprobar el rendimiento de las mismas antes del lanzamiento del globo. Las disoluciones de la ozonosonda se preparan dentro

de una campana en la que el aire ambiente pasa a través de un filtro de carbón vegetal activo que destruye el ozono y otros contaminantes (aire libre de ozono). El flujo volumétrico de la bomba de muestreo de gas de cada sonda ECC se mide individualmente en el laboratorio de ozonosondas antes del vuelo. La velocidad del flujo de bombeo de la sonda se mide con un medidor de flujo de burbujas en la salida de gas de la celda de detección.

El día anterior al lanzamiento, se comprueba que dos ozonosondas ECC-6A funcionen correctamente y se llenan con una solución para la detección. El día del lanzamiento de la ozonosonda, los sensores se transportan a la estación de lanzamiento del BTO (situado a 30 km de distancia), donde se realizan las pruebas previas al lanzamiento en tierra, incluida una doble verificación final del RS-92 y una comparación del ozono superficial del ECC-6A con un analizador de ozono TECO-49C.

### 3.3 Observatorio del Botánico

El Observatorio del Botánico (BTO) se encuentra a 13 km al noreste del IZO, a 114 m s.n.m., en el Jardín Botánico del Puerto de la Cruz (fig. 3.11), a cargo del Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA). El Observatorio del Botánico incluye las siguientes instalaciones:

- Laboratorio de seguimiento de los sondeos de ozono: equipado con un receptor Digicora MW31 con software de adquisición y procesamiento de datos Metgraph de Vaisala y un analizador de ozono de superficie.
- Contenedor de lanzamiento: equipado con un sistema de suministro de helio utilizado para el llenado de los globos ozonosonda.

Además de las mediciones de las ozonosondas, hay una estación meteorológica automática completamente equipada (temperatura, humedad relativa, presión, precipitación, velocidad y dirección del viento), un piranómetro de irradiancia global y un analizador de ozono de superficie (también se utiliza para verificar sobre el terreno las sondas electroquímicas ECC adicionales). En la tabla 3.5 se ofrecen más detalles del programa de mediciones del BTO.



Figura 3.11. Observatorio del Botánico (BTO).

Tabla 3.5. Programa de mediciones del Observatorio del Botánico (BTO).

Parámetro	Fecha de inicio	Instrumento actual	Frecuencia de datos
<b>Gases reactivos y ozonosondas</b>			
Perfiles verticales de O <sub>3</sub> , PTU y dirección y velocidad del viento, desde el nivel del mar hasta una altitud de ~ 33 km	Nov 1992	Radiosondas ECC-A6+RS92+GPS	1 a la semana (miércoles)
O <sub>3</sub> superficial	May 2011	Fotometría UV - Teco 49-C	1 min
<b>Radiación</b>			
Radiación global	May 2011	Piranómetro Kipp & Zonen CM-11	1 min
<b>Vapor de agua en columna</b>			
Vapor de agua precipitable (PWP)	Ene 2009	Receptor GPS-GLONASS GRX1200PRO	15 min (órbitas ultrarrápidas) y 1 h (órbitas precisas)
<b>Meteorología</b>			
Temperatura	Oct 2010	Vaisala F1730001	1 min
Humedad relativa	Oct 2010	Vaisala F1730001	1 min
Dirección y velocidad del viento	Oct 2010	Vaisala WMT700	1 min
Presión	Oct 2010	Vaisala PMT16A	1 min
Precipitación	Oct 2010	Vaisala F21301	1 min

### 3.4 Observatorio del Pico del Teide

El Observatorio del Pico del Teide (TPO) se encuentra situado a 3555 m s.n.m. en la terminal del Teleférico del Teide, en el Parque Nacional del Teide (fig. 3.12). El TPO se creó como una estación satélite del IZO con el objetivo principal de llevar a cabo observaciones de radiación y aerosoles a gran altitud. La estación del TPO, junto con la de Jungfraujoch (3454 m s.n.m.), en Suiza, constituyen los observatorios con mediciones permanentes de radiación más altos de Europa.

Este lugar de observación proporciona información sobre radiación y aerosoles en condiciones extremadamente prístinas y, junto con las mediciones en el SCO y el IZO, facilita el estudio de la variación de las radiaciones global y UV-B, y del espesor óptico de los aerosoles, desde el nivel del mar hasta una altitud de 3555 m s.n.m. Además de las mediciones de radiación y aerosoles, hay una estación meteorológica y un analizador de isótopos de vapor de agua. Los detalles completos del programa de mediciones se dan en la tabla 3.6.

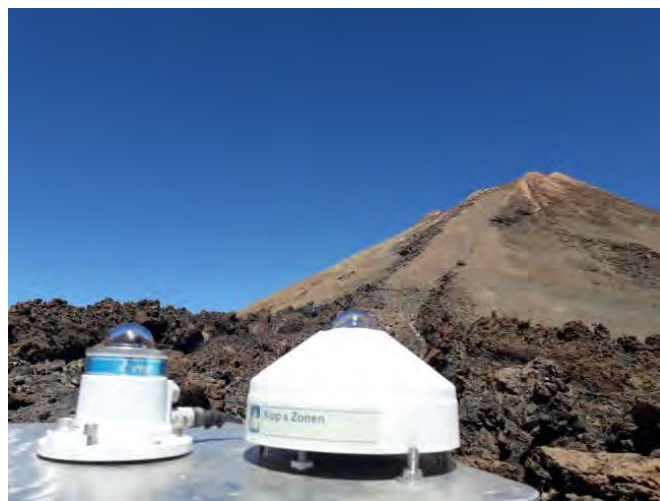


Figura 3.12. Mediciones en el Observatorio del Pico del Teide.

Tabla 3.6. Programa de mediciones del Observatorio del Pico del Teide (TPO).

Parámetro	Fecha de inicio	Instrumento actual	Frecuencia de datos
<b>Aerosoles en columna</b>			
AOD y Ångström a 340, 380, 440, 500, 675, 870, 936 y 1020 nm	Jun 1997	Fotómetro solar Cimel CE318 (gestionado conjuntamente con el Grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid)	~ 15 min (de abril a octubre)
AOD finos/gruesos Fracción del modo fino	Jun 1997	Fotómetro solar Cimel CE318 (gestionado conjuntamente con el Grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid)	~ 15 min (de abril a octubre)
<b>Radiación</b>			
Radiación global	Jul 2012	Piranómetro Kipp & Zonen CM-11	1 min
Radiación UVB	Jul 2012	Piranómetro Yankee Yes UVB-1	1 min
<b>Vapor de agua</b>			
Isótopos de vapor de agua ( $\delta D$ y $\delta^{18}O$ )	Jun 2013	Picarro L2120-I $\delta D$ y analizador $\delta^{18}O$	2 s
<b>Meteorología</b>			
Dirección y velocidad del viento	Oct 2011	Thies Clima Sonic 2D	1 min
Temperatura	Ago 2012	Vaisala HMP45C	1 min
Humedad relativa	Ago 2012	Vaisala HMP45C	1 min
Presión	Ago 2012	Vaisala PTB100A	1 min



### 3.5 Comunicaciones e instalaciones informáticas

Las comunicaciones y las instalaciones informáticas constituyen un componente fundamental de todos los programas y actividades de medición que se llevan a cabo en el Centro de Investigación Atmosférica de Izaña. En la sede del CIAI hay una sala de temperatura controlada que aloja ordenadores servidores dedicados a diferentes tareas automáticas y continuas (NAS, modelización, inversión de espectros, etc.) para los grupos de investigación. En la tabla 3.7 se ofrecen más detalles sobre las instalaciones informáticas.

La sede del CIAI dispone de acceso interno mediante doble conexión de fibra óptica (20 Mb/s) a la sede de AEMET en Madrid, actuando una de estas conexiones como respaldo. El IZO está conectado en tiempo real a la sede del CIAI a través de un enlace de radio wifi (54 Mb/s) de 34 km. En el SCO hay una estación de recepción EUMETCast (sistema de transmisión de datos ambientales de EUMETSAT) que consiste en un sistema de difusión multiservicio basado en la tecnología estándar de la difusión de vídeo digital (DVB). La mayor parte de la información satelital se recibe a través de este sistema (más detalles en la sección 13). Un importante avance en materia de comunicaciones en el IZO fue la creación de una conexión con la red Iris Nova, que tiene algunos de sus nodos en las instalaciones del Observatorio del Teide del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC).

### 3.6 Personal

Las actividades universales para todos los programas de medición, como la operación y el mantenimiento de instalaciones, equipos, instrumentación, comunicaciones e instalaciones informáticas del CIAI, son realizadas por el siguiente personal:

- Ramón Ramos (AEMET; jefe de instrumentación científica e infraestructuras);
- Enrique Reyes (AEMET; especialista en desarrollo de TI);
- Néstor Castro (AEMET; especialista en TI);
- Antonio Cruz (AEMET; especialista en TI);
- Rocío López (AEMET; especialista en TI);
- Sergio Afonso (AEMET; observador meteorológico y técnico de la VAG);
- Concepción Bayo (AEMET; observadora meteorológica y técnica de la VAG);
- Virgilio Carreño (AEMET; observador meteorológico y técnico de la VAG);
- Cándida Hernández (AEMET; observadora meteorológica y técnica de la VAG);
- Dr. Fernando de Ory (AEMET; observador meteorológico y técnico de la VAG), dejó el CIAI en octubre de 2018.

**Tabla 3.7. Instalaciones informáticas del CIAI.**

	Hardware informático			
	Almacenamiento	Virtualización	Modelización	Total
<b>H.D.</b>	34 TB	12 TB	10 TB	56 TB
<b>Núcleos</b>	7	28	68	105
<b>RAM</b>	12 GB	56 GB	46 GB	114 GB

## 4 Gases de efecto invernadero y ciclo del carbono

### 4.1 Principales objetivos científicos

El objetivo principal del programa de gases de efecto invernadero y ciclo del carbono del CIAI es el de llevar a cabo en el IZO mediciones continuas *in situ* de alta precisión de los gases de efecto invernadero (GEI) de larga duración en la atmósfera para contribuir al programa de la VAG de la OMM, siguiendo las recomendaciones y directrices de la VAG. Otros objetivos son: 1) estudiar con precisión la evolución a largo plazo de los GEI en la atmósfera, así como su variabilidad diaria, estacional e interanual; 2) incorporar continuamente mejoras técnicas instrumentales y nuevas metodologías de evaluación y calibración de datos con el fin de reducir la incertidumbre y aumentar la exactitud de las mediciones de GEI; 3) realizar tareas de investigación para estudiar los procesos que controlan la variabilidad y evolución de los GEI en la atmósfera; y 4) contribuir a desarrollar la investigación internacional y su documentación mediante recomendaciones y directrices.

Además, desde 2017 ha habido una demanda creciente para ofrecer datos fidedignos de GEI en tiempo casi real con vistas a la asimilación de datos por los modelos atmosféricos, el estudio del impacto de ciertos fenómenos a gran escala (por ejemplo, los grandes incendios forestales), el intercambio de datos con la comunidad de la teledetección y la información a las instancias normativas, en la medida que la información sobre GEI es ahora objeto de un gran interés social y tiene un gran impacto mediático. Este nuevo paradigma requiere un enorme esfuerzo y supone un gran desafío técnico al tener que combinar una evaluación clásica de datos generales muy precisos (tarea que puede llevar al menos 6 meses) con la entrega de datos de una calidad aceptable y mínimamente validados a las pocas horas o minutos de haberse obtenido. Estas nuevas tareas deben incorporarse contando con el mismo equipo de personal técnico e investigador.

### 4.2 Cambios de personal

En octubre de 2017, el jefe del programa, el Dr. Ángel Gómez Peláez, cambió de destino dentro de AEMET tras casi 12 años al frente de este programa. Esta circunstancia condicionó una parte importante de la actividad del programa durante 2017 y 2018. Enrique Reyes, físico con buenas habilidades en materia de programación, se incorporó al programa aprendiendo los procedimientos de evaluación de datos de todos y cada uno de los instrumentos. También se hizo cargo de los códigos fuente del software utilizado para procesar y evaluar los datos. Además, el Dr. Emilio Cuevas se incorporó a este programa a tiempo parcial, coordinando actividades relacionadas con la atención al usuario, estando a cargo del envío de datos a las bases de datos internacionales (CMDGEI; ObsPack), coordinando auditorías externas y calibraciones, colaborando con programas de observación internacional (como la VAG o el Sistema de observación integrada del carbono (ICOS)), y promoviendo la participación en proyectos de investigación sobre GEI y el ciclo del carbono. Ramón Ramos continúa a cargo del arduo trabajo de mantener y mejorar la instrumentación del programa, y Vanessa Gómez colabora en las tareas de calibración.

Queremos aprovechar la ocasión para agradecer sinceramente al Dr. Ángel Gómez Peláez los excelentes servicios prestados al liderar este programa durante más de una década, con gran dedicación y rigor, y desearle lo mejor en su nuevo trabajo.

### 4.3 Programa de mediciones

En la tabla 4.1 se ofrece información acerca de las mediciones de gases de efecto invernadero atmosféricos que se realizan actualmente en el IZO utilizando analizadores *in situ* (propiedad de AEMET) y algunos detalles sobre los esquemas de medición. Los detalles de los sistemas de medición *in situ* y el procesamiento de datos se pueden encontrar en Gómez-Peláez *et al.* (2006, 2009, 2011, 2012, 2013, 2014, 2016 y 2017).

También puede ampliarse la información al respecto consultando los últimos informes de auditoría científica de la VAG sobre mediciones de los GEI en el IZO: Scheel (2009), Zellweger *et al.* (2009) y Zellweger *et al.* (2013).

Además, desde 1991 se han recopilado muestras semanales de matraces discretos para la Red cooperativa de muestreo del aire del Grupo de trabajo sobre gases de efecto invernadero y ciclo del carbono (CCGG) de la División de vigilancia mundial (GMD) del Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre (ESRL) del Organismo Nacional para el Estudio de los Océanos y la Atmósfera (NOAA). La participación consiste en la recopilación semanal de muestras en matraces discretos en el IZO y su envío posterior al CCGG de la GMD/ESRL/NOAA.

El aire dentro de los matraces se ha medido para las siguientes fracciones molares de especies gaseosas: 1)  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{H}_2$  desde 1991;  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{SF}_6$  desde 1997 (ambos conjuntos medidos por el CCGG de la GMD/ESRL/NOAA); 2) relaciones isotópicas entre el carbono 13 y el carbono 12, y entre el oxígeno 18 y el oxígeno 16, en el dióxido de carbono desde 1991 (medidas por el Laboratorio de isótopos estables del INSTAAR); 3) cloruro de metilo, benceno, tolueno, etano, eteno, propano, propeno, i-butano, n-butano, i-pentano, n-pentano, n-hexano e isopreno desde 2006 (medidos por el INSTAAR). La figura 4.2 muestra la disminución del  $^{13}\text{CO}_2$  en el Observatorio de Izaña durante el periodo 1991-2018.



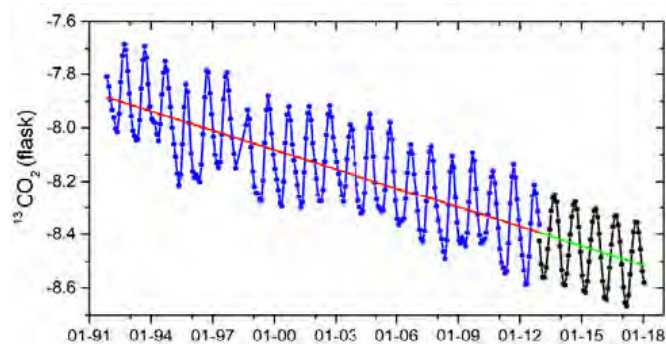
Figura 4.1. Sistema de medición de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{SF}_6$  con cromatógrafos de gases en el IZO.

**Tabla 4.1. Gases de efecto invernadero en la atmósfera medidos *in situ* en el IZO y esquemas de medición utilizados.**

Gas	Fecha de inicio	Analizador	Modelo	Frecuencia de medición del aire ambiente	Gas/es de referencia y frecuencia de medición	Frecuencia de calibración de gas/es de referencia
CO <sub>2</sub>	1984	NDIR	Licor 7000 Licor 6252	Continua Continua	3 GR cada hora 3 GR cada hora	Quincenal usando 4 EL
CH <sub>4</sub>	1984	GC-FID	Dani 3800 Varian 3800	2 inyecciones/hora 4 inyecciones/hora	1 GR cada 30 min 1 GR cada 15 min	Quincenal usando 2 EL
N <sub>2</sub> O	2007	GC-ECD	Varian 3800	4 inyecciones/hora	1 GR cada 15 min	Quincenal usando 5 EL
SF <sub>6</sub>	2007	GC-ECD	Varian 3800	4 inyecciones/hora	1 GR cada 15 min	Quincenal usando 5 EL
CO	2008	GC-RGD	Tr. An. RGA-3	3 inyecciones/hora	1 GR cada 20 min	Quincenal usando 5 EL
CO <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> CO	2016	CRDS	Picarro G2401	Continua	2 GR cada 21 horas para estudiar el rendimiento	Cada 3-4 semanas usando EL
CO N <sub>2</sub> O	2018	LGR	Los Gatos Research 915-0015	Continua	2 GR cada 4 horas, uno como gas de trabajo y el otro, como gas objetivo	Cada 4 semanas usando 5 EL

Gas/es de referencia (GR), estándares de laboratorio (EL)

También se han recopilado muestras integradas de dos semanas de dióxido de carbono atmosférico para la Universidad de Heidelberg (Grupo del ciclo del carbono del Instituto de Física Ambiental) desde 1984 para medir la relación isotópica del C-14 en el dióxido de carbono.



**Figura 4.2. Serie de datos de <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> (1991-2013) del Laboratorio de isótopos estables del INSTAAR (en color azul) y datos simulados usando los métodos de ajuste de curvas de la GMD/ESRL/NOAA (en color negro).**

#### 4.4 Resumen de las actividades más destacadas durante el periodo 2017-2018

Este programa ha seguido realizando mediciones continuas de alta calidad de gases de efecto invernadero y enviando anualmente los datos al Centro Mundial de Datos sobre Gases de Efecto Invernadero (CMDGEI) de la VAG/OMM, donde están disponibles públicamente, así como resúmenes de datos (por ejemplo, WDCGG, 2018).

En la fig. 4.3 se muestra la serie de tiempo completa de CO<sub>2</sub>. Su tasa de crecimiento durante el periodo 1984-2018 es de unas

1,9 ppm/año aunque un análisis detallado de la serie temporal de la tasa de crecimiento de la curva de tendencia de CO<sub>2</sub> (no mostrada aquí) pone de manifiesto que el aumento se está acelerando y actualmente es superior a 2,1 ppm/año, un valor significativamente mayor que las 1,8 ppm/año registradas al comienzo de las mediciones de CO<sub>2</sub> en el IZO en 1984.

En la fig. 4.4 se muestran las series temporales de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub> y CO en el IZO. Todos los datos recopilados se utilizan para analizar y estudiar el ciclo del carbono y comprender el papel de los factores antropogénicos y naturales que controlan la variabilidad de los GEI. Los métodos de ajuste de curvas aplicados a las series temporales del IZO son los utilizados por la GMD/ESRL/NOAA (Thoning *et al.*, 1989).

El CIAI también ha seguido contribuyendo a los productos de datos GLOBALVIEW y OBSPACK dirigidos por el CCGG de la GMD/ESRL/NOAA (por ejemplo, Cooperative Global Atmospheric Data Integration Project, 2016), así como colaborando con las inversiones de flujo en superficie de CO<sub>2</sub> asociadas: CarbonTracker (por ejemplo, CarbonTracker Team, 2016), CarbonTracker Europe y MACC, que sigue el procedimiento descrito en Chevallier *et al.* (2010).

Durante el verano de 2018, se desarrolló una sequía generalizada en el norte y centro de Europa. El aumento significativo de la temperatura y la reducción de la humedad del suelo han perturbado los intercambios de CO<sub>2</sub> con los ecosistemas terrestres por diversos mecanismos como la reducción de la fotosíntesis o los incendios que fueron particularmente importantes en Suecia a finales de julio de 2018. Por estas razones, el ICOS ha realizado un estudio —al que el CIAI ha contribuido con datos actualizados— donde se caracterizó la perturbación resultante del ciclo estacional de las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub>.



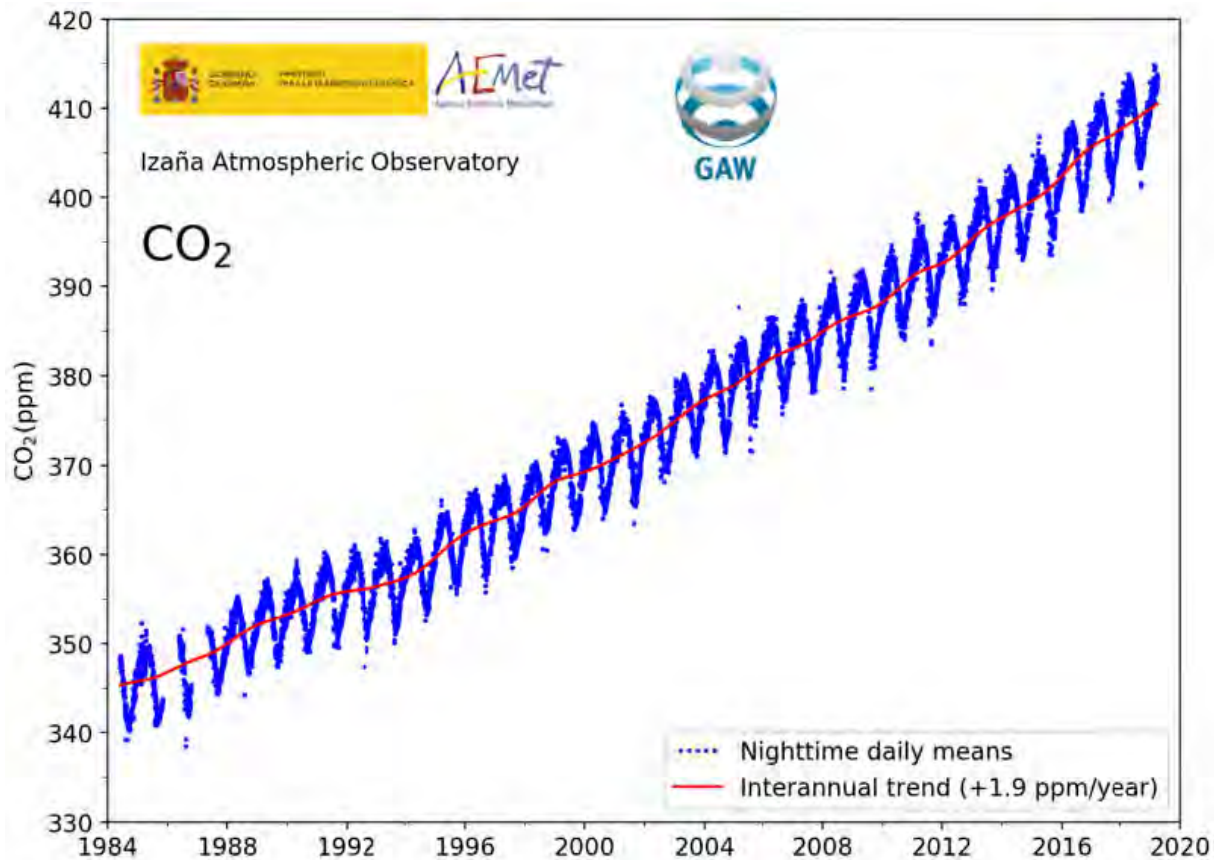


Figura 4.3. Serie temporal de CO<sub>2</sub> del Observatorio Atmosférico de Izaña (1984-2018).

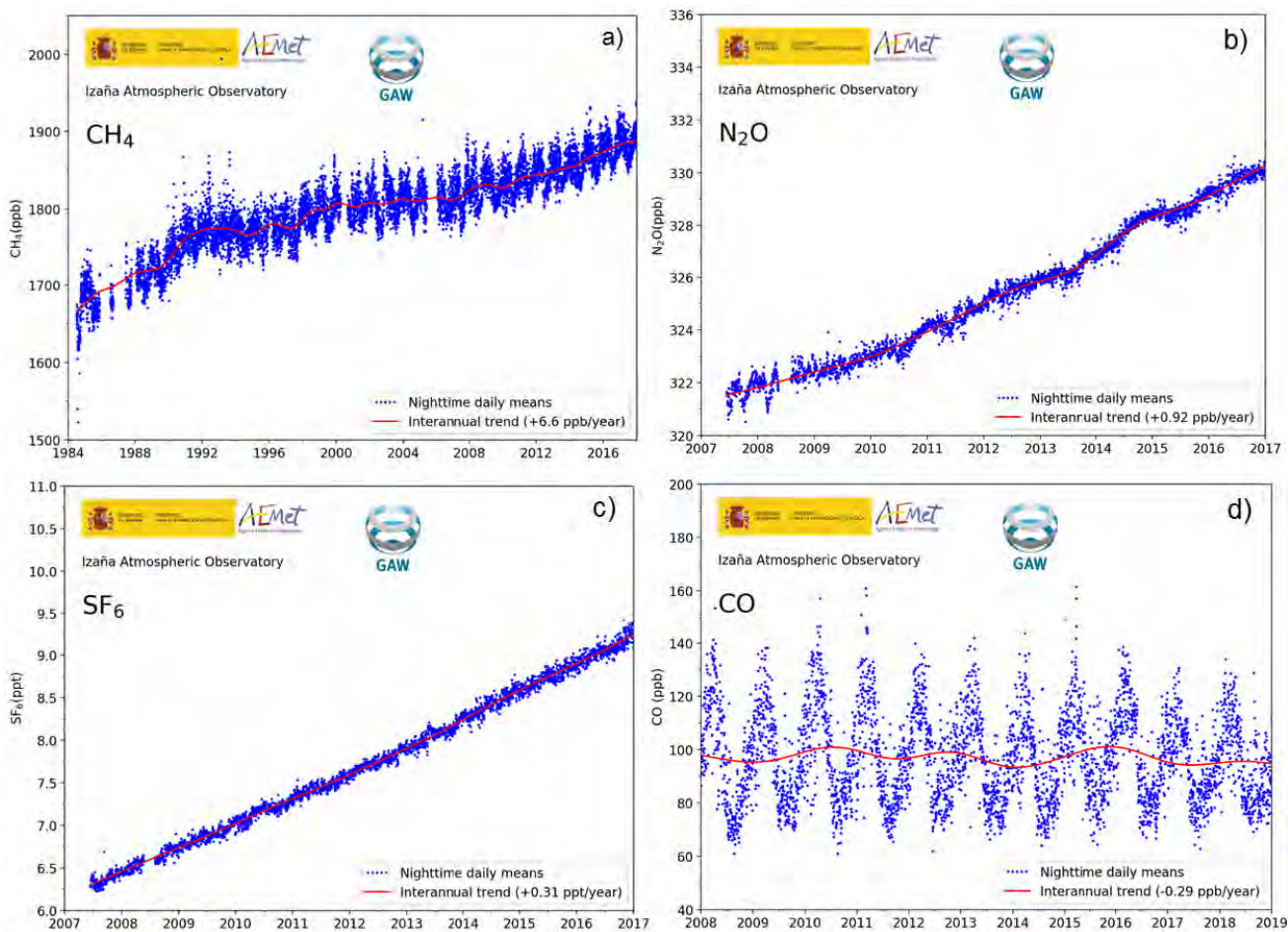


Figura 4.4. Series temporales del Observatorio Atmosférico de Izaña para: a) CH<sub>4</sub>; b) N<sub>2</sub>O; c) SF<sub>6</sub> y d) CO.

El antiguo investigador principal de este programa participó en la «Decimonovena reunión OMM/OIEA sobre dióxido de carbono, otros gases de efecto invernadero y las técnicas de medición conexas (GGMT-2017)» que se celebró en Dubendorf (Suiza), del 27 al 31 de agosto de 2017, con una presentación sobre la puesta en marcha del nuevo analizador Picarro CRDS (Gómez-Peláez *et al.*, 2017).

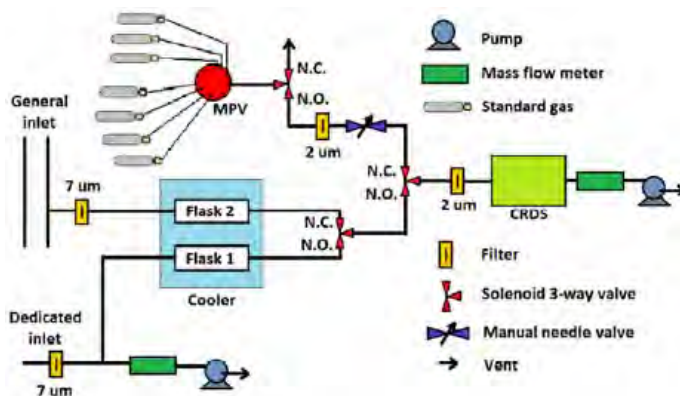
#### 4.4.1 Mediciones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y CO con la técnica CRDS en el IZO

Una parte del tiempo de trabajo en este programa durante el periodo que abarca este informe se dedicó a la implementación del nuevo espectrofotómetro de absorción láser de anillo descendente de cavidad (CRDS) Picarro G2401 para la determinación simultánea de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO y H<sub>2</sub>O en muestras de aire ambiente (fig. 4.5).



Figura 4.5. Tecnología CRDS para la determinación de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y CO en el Observatorio Atmosférico de Izaña.

A finales de 2015, se instaló un Picarro CRD de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y CO en el Observatorio de Izaña para mejorar el programa de medición de la VAG de gases de efecto invernadero en Izaña y garantizar la renovación de la instrumentación y el mantenimiento a largo plazo de este programa. En la fig. 4.6 se muestra el esquema de medición general.



En este estudio se abordaron los resultados de los test de aceptación del CRDS, el esquema de procesamiento de datos brutos aplicado y las funciones de respuesta utilizadas. También fueron objeto de un análisis detallado los resultados de la calibración, la corrección de vapor de agua ejecutada, las estadísticas de inyección de gases objetivo, las mediciones ambientales realizadas desde diciembre de 2015 hasta julio de 2017 y su comparación con otras mediciones continuas *in situ*.

La concordancia con otras mediciones continuas *in situ* mostró, la mayoría de las veces, excelentes resultados para el CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub>, pero para el CO se descubrió que estaba justo fuera del objetivo de 2 ppb de la VAG. Parece que el desacuerdo no se debe a desviaciones significativas en los estándares terciarios del CRDS CO de la OMM. Las aportaciones más relevantes de este análisis fueron:

- 1) determinación de relaciones lineales entre la velocidad del flujo, la presión de entrada del CRDS y la apertura de la válvula de salida del CRDS;
- 2) determinación de una ligera corrección de CO<sub>2</sub> que tiene en cuenta los cambios en la presión/velocidad del flujo de entrada (así como su estabilidad a lo largo de los años), y los atribuye a la existencia de una pequeña falta de homogeneidad espacial en el campo de presión dentro de la cavidad del CRDS a causa de la dinámica de los gases;
- 3) determinación del grado de desviación para los sensores de presión y temperatura situados dentro de la cavidad del CRDS a partir de las tendencias de deriva de la función de respuesta para el CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub>;
- 4) determinación de la corrección de H<sub>2</sub>O para el CO utilizando los datos brutos del pico espectral en lugar del CO en bruto proporcionado por el CRDS, y empleando una media móvil para suavizar el ruido aleatorio en un test largo de gotitas de agua (12 h) antes de realizar el ajuste de mínimos cuadrados;
- 5) determinación de la existencia de una pequeña dependencia del H<sub>2</sub>O en el flujo del CRDS y de una pequeña falta de homogeneidad espacial en el campo de temperatura dentro de la cavidad del CRDS, investigando su origen.

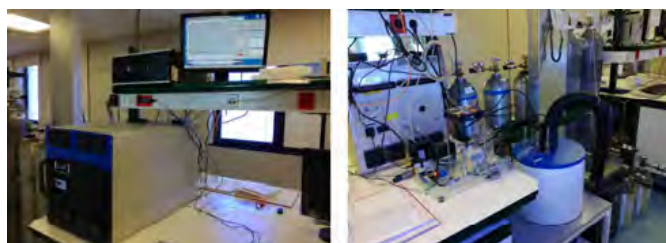
Gomez-Pelaez *et al.* (2017) contiene una descripción detallada de este estudio, que es la versión del trabajo en su fase de discusión. Durante la preparación de este informe también se ha publicado la versión final del artículo (Gómez-Peláez *et al.*, 2019).

Figura 4.6. Configuración de la fontanería estándar de aire y gas ambiente de la instalación CRDS del Observatorio de Izaña. Reproducido de Gómez-Peláez *et al.* (2017).



#### 4.4.2 Puesta en marcha del analizador de Los Gatos Research para realizar mediciones simultáneas de N<sub>2</sub>O y CO

En 2018 se incorporó al programa de medición un nuevo analizador (el analizador Los Gatos Research LGR 913-0015) para determinar CO y N<sub>2</sub>O a partir de una técnica muy innovadora. Este instrumento fue adquirido gracias al proyecto titulado «Equipamiento del Observatorio de la VAG de Izaña (Tenerife) para observar y estudiar los componentes atmosféricos causantes y moduladores del cambio climático» (contrato: AEDM15-BE-3319). Este proyecto de infraestructuras de I+D ha sido financiado por la Agencia Estatal de Investigación del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, en la Convocatoria de proyectos de equipamiento científico, cofinanciado con recursos del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).



**Figura 4.7.** Vista frontal y posterior del analizador de CO y N<sub>2</sub>O de Los Gatos Research (LGR) en el Observatorio de Izaña con el nuevo diseño de la fontanería que incluye el sistema de enfriamiento de las muestras de aire.

Este instrumento se basa en una técnica espectroscópica con una cavidad óptica de alta calidad (es decir, con reflectividad y calidad óptica altas), y bajo volumen (inferior a 0,5 litros) que permite trayectorias ópticas muy largas debido a la multitud de reflexiones del haz de luz infrarroja (4,6 μm de longitud de onda) que tienen lugar dentro de la cavidad. Este haz es producido por un láser de cascada cuántica con longitud de onda ajustable. El instrumento controla con gran precisión la temperatura y la presión dentro de la cavidad óptica de medición, siendo dicha presión sustancialmente menor que la ambiental.

El analizador también mide el H<sub>2</sub>O aprovechando las líneas espectrales que se encuentran en el rango de las utilizadas para determinar el N<sub>2</sub>O y el CO. Actualmente se requiere secar previamente por completo el aire a analizar con este instrumento para lograr la exactitud que demanda el programa de la VAG para la medición de N<sub>2</sub>O y ello se consigue haciendo circular el aire a través de un sistema de criogenización a -60 °C.

El sistema de calibración consiste en la medición de un tanque que contiene referencias mundiales de la VAG de CO y N<sub>2</sub>O suministradas una vez al mes por el Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre de la NOAA en Boulder, Colorado (EE. UU.). Adicionalmente, y con el fin de corregir y verificar posibles pequeñas variaciones diurnas, cada 4 horas se realizan mediciones de un «tanque de trabajo» y un «tanque objetivo», ambos con concentraciones conocidas de CO y N<sub>2</sub>O.

Este analizador ahora forma parte del programa sobre gases de efecto invernadero y ciclo del carbono de la VAG, y es el instrumento primario para las mediciones de CO y N<sub>2</sub>O en el Observatorio de Izaña. Este equipo cumple con los requisitos del Consorcio de Infraestructuras de Investigación Europeas (ERIC) para el ICOS. En la actualidad, este instrumento es el único aceptado por el ICOS para llevar a cabo mediciones de N<sub>2</sub>O.

#### 4.5 Participación en estudios científicos de cooperación internacional

##### 4.5.1 Inversión decenal de CO<sub>2</sub> utilizando el modelo acoplado euleriano-lagrangiano atmosférico global (GELCA): sensibilidad a la red de observación terrestre

El director del programa del CIAI sobre gases de efecto invernadero y ciclo del carbono en el Observatorio de Izaña participó activamente en este estudio científico que aborda el sistema de asimilación de CO<sub>2</sub> atmosférico del modelo de transporte acoplado euleriano-lagrangiano atmosférico global (GELCA) del Instituto Nacional de Estudios Ambientales (NIES) de Japón (más detalles en Shirai *et al.*, 2017).

Un modelo de transporte atmosférico no es más que un modelo numérico que, dada una distribución espacial inicial de concentración de un gas traza determinado (por ejemplo, CO<sub>2</sub>) en la atmósfera, calcula la evolución en el tiempo de la concentración de este gas traza en la atmósfera resolviendo un conjunto de ecuaciones en derivadas parciales. Estas ecuaciones tienen en cuenta que el gas traza es transportado por el campo de viento, pero también que se dispersa debido a la turbulencia y la convección. Asimismo, el modelo debe considerar las fuentes y sumideros (oceánicos y terrestres) superficiales del gas traza. Podría haber también sumideros volumétricos dentro de la atmósfera en el caso de los gases traza que reaccionan químicamente en la atmósfera, pero este no es el caso del CO<sub>2</sub>.

Las fuentes y los sumideros superficiales de gases traza se caracterizan actualmente por una alta incertidumbre debido, entre otros factores, a las limitaciones de los inventarios de emisiones, de los modelos de vegetación y de las mediciones de flujos de gases traza en los ecosistemas. Con un modelo de transporte y mediciones atmosféricas de la concentración de gases traza en muchas estaciones, las fuentes y los sumideros superficiales se pueden restringir mejor realizando una técnica de «inversión». El procedimiento es el siguiente: 1) los flujos superficiales *a priori* se utilizan en una ejecución hacia adelante del modelo de transporte; 2) las concentraciones de gases traza simuladas para cada paso de tiempo se comparan con las concentraciones medidas; 3) a partir de estas diferencias de concentración se pueden deducir las mejoras que deben aplicarse a los flujos superficiales para minimizar aquellas; y por lo tanto, se puede obtener un valor *a posteriori* más exacto para los flujos superficiales.

El modelo de transporte utilizado en este estudio es especialmente complejo y eficiente debido a que consiste en el acoplamiento de un modelo euleriano y otro lagrangiano, de forma continua en el tiempo. Los modelos eulerianos son más adecuados para escalas globales y tiempos de simulación largos,

mientras que los modelos lagrangianos se ajustan mejor a las escalas pequeñas y los tiempos de simulación cortos. El modelo GELCA combina ambos tipos de modelo para obtener simultáneamente las ventajas de ambos: una cobertura global y una alta resolución espacial en las proximidades de las estaciones de observación. En la fig. 4.8 se muestra el diagrama esquemático de la modelización de la inversión con GELCA.

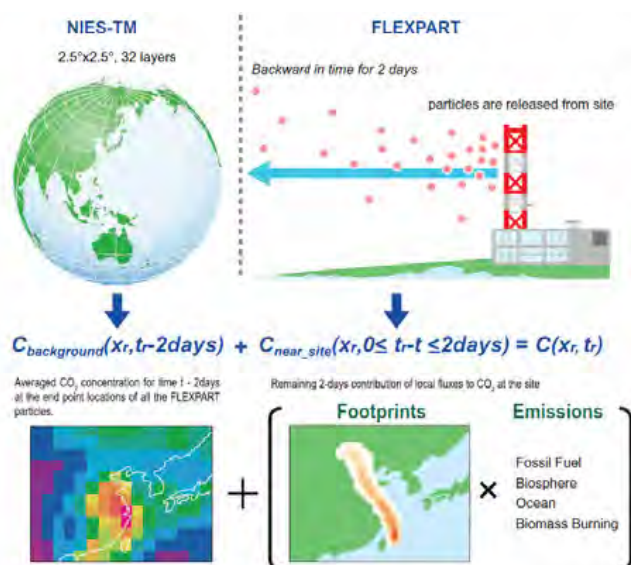


Figura 4.8. Diagrama esquemático de la modelización de la inversión con GELCA.

Este estudio realizó pruebas de sensibilidad para examinar el impacto de las selecciones de emplazamiento y las configuraciones de incertidumbre previas de la observación sobre los resultados de la inversión. Se utilizaron cinco diferentes selecciones de datos y emplazamientos con el producto ObsPack para llevar a cabo estas pruebas de sensibilidad. En todos los casos, la serie de tiempo del flujo neto global de CO<sub>2</sub> a la atmósfera se mantuvo cerca de los valores calculados a partir de la tasa de crecimiento media mundial observada de la razón de mezcla de CO<sub>2</sub> atmosférico. A escala regional, los flujos estacionales estimados de CO<sub>2</sub> se alteraron, dependiendo de los datos de CO<sub>2</sub> seleccionados para la asimilación.

En la mayor parte de los lugares de observación, la discrepancia entre el modelo y los datos fue razonablemente pequeña. Con respecto a las estimaciones de flujos regionales, Asia tropical fue una de las regiones que mostró un impacto significativo por la configuración de la red de observación. En Shirai *et al.* (2017) se constata que los flujos superficiales en Asia tropical eran los más sensibles al uso de mediciones de aeronaves sobre el Pacífico debido a que en esa región las observaciones superficiales disponibles son muy escasas y la convección profunda se presenta con mucha frecuencia. El ciclo estacional mostró un mejor acuerdo con los resultados de los estudios ascendentes cuando se asimilaban las mediciones de la aeronave.

Estos resultados confirman la importancia de estas observaciones de aeronaves, especialmente para limitar los flujos superficiales en los trópicos.

#### 4.5.2 Estimaciones de las emisiones globales de metano para el periodo 2000-2012 obtenidas por el Carbon Tracker Europe-CH<sub>4</sub> v1.0

Este estudio presenta la evaluación del modelo CarbonTracker Europe-CH<sub>4</sub> y los resultados de las inversiones globales de flujo de metano realizadas con ese modelo. Como se explicó en la sección anterior 4.5.1, utilizando un modelo de transporte y mediciones atmosféricas de la concentración de CO<sub>2</sub> en muchas estaciones, las fuentes y los sumideros superficiales de este importante gas de efecto invernadero se pueden restringir mejor mediante una técnica de «inversión».

En Tsuruta *et al.* (2017), se aplica un procedimiento similar para restringir los flujos superficiales de CH<sub>4</sub>: 1) los flujos superficiales de CH<sub>4</sub> *a priori* se utilizan en una ejecución hacia adelante del modelo de transporte; 2) las concentraciones simuladas de CH<sub>4</sub> obtenidas para cada paso de tiempo se comparan con las concentraciones medidas (fig. 4.9); 3) a partir de estas diferencias en la concentración de CH<sub>4</sub>, se deducen las mejoras que es necesario aplicar a los flujos superficiales de CH<sub>4</sub> para minimizar esas diferencias; y por tanto, se obtiene un valor *a posteriori* más exacto de los flujos superficiales de CH<sub>4</sub>.



Figura 4.9. Descomposición de la superficie terrestre en las regiones que utiliza el modelo y localizaciones de los lugares con observaciones asimiladas en las inversiones («Discrete»: muestras de matraces semanales analizadas en un laboratorio central; «Continuous»: instrumento que mide continuamente en la estación). Reproducido de Tsuruta *et al.* (2017).

Se utilizaron tres configuraciones diferentes para evaluar la sensibilidad de las estimaciones del flujo de CH<sub>4</sub> para: a) el número de factores de escala de flujo desconocidos que se optimizarán, que a su vez depende de la elección del mapa de ecosistemas terrestres subyacente (fig. 4.10), y b) la parametrización de la mezcla vertical en el modelo de transporte atmosférico TM5.

Las estimaciones de las emisiones posteriores se evaluaron mediante la comparación de las simulaciones para los lugares de observación superficial *in situ*, con las observaciones de perfiles realizadas desde aeronaves y con las observaciones de fracciones molares promediadas en columnas totales de aire seco. Las emisiones globales de metano estimadas posteriormente para el periodo 2000-2012 son de 516 ± 51 Tg CH<sub>4</sub> año<sup>-1</sup>, y las estimaciones de las emisiones durante el periodo 2007-2012 son de 18 Tg CH<sub>4</sub> año<sup>-1</sup>, mayores que las del periodo 2001-2006, impulsadas sobre todo por un aumento en las emisiones de la región templada de América del Sur, la región templada de Asia y los trópicos asiáticos.



Las estimaciones posteriores para las regiones de latitud septentrional muestran una sensibilidad significativa a la elección del esquema de convección en el modelo TM5. La evaluación con observaciones no asimiladas puso de manifiesto que las fracciones molares posteriores coincidían mejor con las observaciones cuando se utilizaba un esquema de convección.

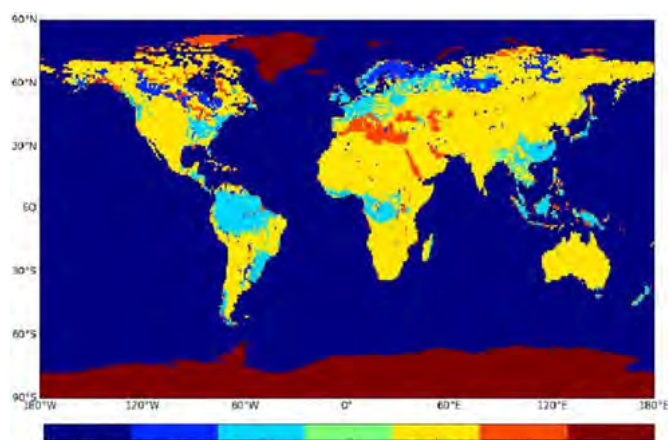


Figura 4.10. Mapa de ecosistemas terrestres utilizado en la definición regional en la optimización. Reproducido de Tsuruta *et al.* (2017).

### 4.5.3 Selección adaptativa de la variación mínima diurna: estrategia estadística para obtener datos representativos de CO<sub>2</sub> atmosférico y su aplicación a las estaciones europeas de alta montaña

Yuan *et al.* (2018) presentan un nuevo método de selección de datos estadísticos denominado «Selección adaptativa de la variación mínima diurna» (ADVS) para determinar niveles de referencia representativos de gases traza atmosféricos incluso en lugares de medición remotos. La selección de datos críticos se basa en los patrones diarios de CO<sub>2</sub> que suelen presentarse en las estaciones de alta montañosa.

En el caso del Observatorio de Izaña, puede observarse cómo los registros de CO<sub>2</sub> muestran una variación diaria con valores mínimos (y unas desviaciones típicas asociadas relativamente altas) algo después del mediodía, y valores más altos y muy estables (desviación típica mínima). Este ciclo diario varía a lo largo del año, como también lo hace el régimen de brisas de valle y montaña modulado por la radiación solar y el correspondiente calentamiento de la pendiente (fig. 4.11).

Este trabajo desarrolla en profundidad ideas ya utilizadas en el Observatorio de Izaña a principios de la década de 1990 para discriminar datos representativos de la troposfera libre, de aquellos otros que están influidos por el aire proveniente de los niveles inferiores, modulados por el régimen de brisas y afectados durante el día por los procesos de absorción de CO<sub>2</sub> por parte del pinar que rodea la isla y que se localizan, en gran medida, dentro de la capa mixta marina (p. ej. Cuevas, 1995) y por tanto no son representativos de la troposfera libre.

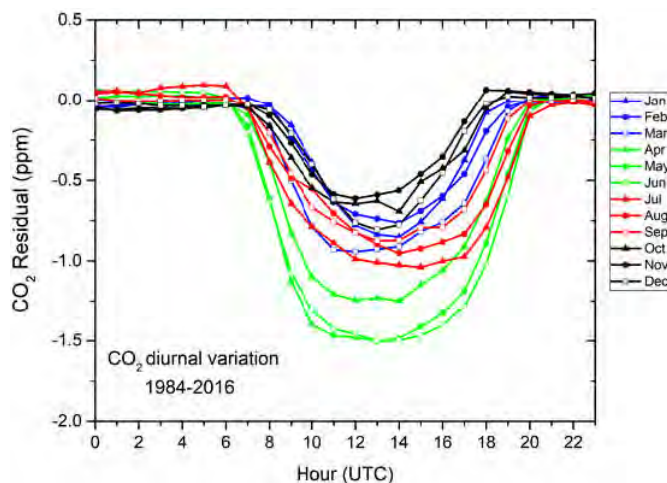


Figura 4.11. Variación diurna media de los residuos de CO<sub>2</sub> para cada mes del año en el periodo 1984-2016. Los residuos se han calculado diariamente como la diferencia de CO<sub>2</sub> por cada hora en comparación con el nivel de fondo nocturno (de 20:00 a 08:00 UTC).

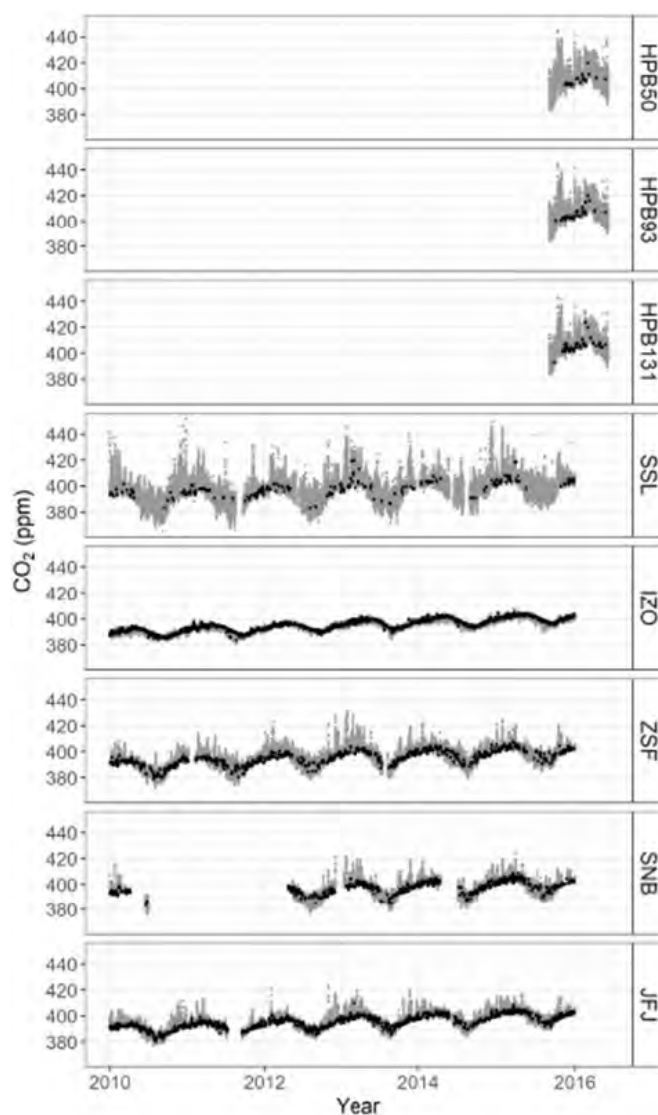


Figura 4.12. Gráficos de series de tiempo de conjuntos de datos de CO<sub>2</sub> validados (gris) y conjuntos de datos seleccionados por ADVS (negro) en seis estaciones de la VAG. Reproducido de Yuan *et al.* (2018). La comparación indica que el IZO presenta el registro de CO<sub>2</sub> menos ruidoso y más estable de todas las estaciones.



Su capacidad y aplicabilidad se estudiaron en registros de observación de CO<sub>2</sub> atmosférico de las seis estaciones siguientes de la Vigilancia de la Atmósfera Global en Europa: Zugspitze-Schneefernerhaus (Alemania); Sonnblick (Austria); Jungfraujoch (Suiza); Izaña (España); Schauinsland (Alemania) y Hohenpeissenberg (Alemania). Se incluyeron otros tres métodos de selección de datos estadísticos aplicados con frecuencia para la comparación. Los resultados pusieron de relieve que el método ADVS dio lugar a una fracción menor de datos seleccionados como referencia con máximos inferiores durante el invierno y mínimos más altos durante el verano. Las series de tiempo medidas se analizaron para determinar las tendencias a largo plazo y la estacionalidad mediante una técnica de descomposición de tendencias estacionales.

En contraste con los datos no seleccionados, las tasas de crecimiento anual medio de todos los conjuntos de datos seleccionados no fueron significativamente diferentes entre los lugares. Sin embargo, se encontraron claras diferencias en las amplitudes anuales, así como en la estructura temporal estacional. A partir del análisis por pares de las correlaciones entre estaciones respecto de los componentes descompuestos de tendencia estacional por la selección de datos estadísticos, los autores concluyen que la referencia identificada por el método ADVS representa mejor las condiciones de la troposfera libre inferior que las referencias identificadas por otros métodos.

Según este estudio, se puede considerar que el IZO representa mejor las condiciones de la troposfera libre inferior de las seis estaciones. La tendencia obtenida concuerda bien con las tasas medias anuales de crecimiento de CO<sub>2</sub> global (2,31 ppm) durante el mismo periodo de tiempo (2010-2015) según los datos de <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>.

## 4.6 Referencias

CarbonTracker Team (2018): Simulated observations of atmospheric carbon dioxide from CarbonTracker release CT2017; NOAA Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division. [https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/carbontracker/CT2017\\_doc.php](https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/carbontracker/CT2017_doc.php).

Chevallier, F., P. Ciais, T. J. Conway, T. Aalto, B. E. Anderson, P. Bousquet, E. G. Brunke, L. Ciattaglia, Y. Esaki, M. Fröhlich, A. Gómez, A. J. Gómez-Peláez, L. Haszpra, P. B. Krummel, R. L. Langenfelds, M. Leuenberger, T. Machida, F. Maignan, H. Matsueda, J. A. Morguá, H. Mukai, T. Nakazawa, P. Peylin, M. Ramonet, L. Rivier, Y. Sawa, M. Schmidt, L. P. Steele, S. A. Vay, A. T. Vermeulen, S. Wofsy, D. Worthy, CO<sub>2</sub> surface fluxes at grid point scale estimated from a global 21 year reanalysis of atmospheric measurements, *J. Geophys. Res.*, 115, D21307, doi:10.1029/2010JD013887, 2010.

Cooperative Global Atmospheric Data Integration Project (2019): Multi-laboratory compilation of atmospheric carbon dioxide data for the period 1957-2018; `obspack_co2_1_GLOBALVIEW_plus_v5.0_2019-08-12`; NOAA Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division. <https://search.datacite.org/works/10.25925/20190812>

Cuevas-Agulló, E.: Estudio del Comportamiento del Ozono Troposférico en el Observatorio de Izaña (Tenerife) y su Relación con la Dinámica Atmosférica, Universidad Complutense de Madrid, ISBN: 978-84-669-0399-8, 251pp, <http://eprints.ucm.es/1964/1/T20635.pdf>, febrero 1995.

Gómez-Peláez, A. J., Ramos, R., Pérez-de la Puerta, J., «Methane and carbon dioxide continuous measurements at Izaña GAW

station (Spain)» in GAW Report (No. 168) of the “13th WMO/IAEA Meeting of Experts on Carbon Dioxide Concentration and Related Tracers Measurement Techniques (Boulder, Colorado, USA, 19-22 September 2005)”, edited by J.B. Miller, World Meteorological Organization (TD No. 1359), 180-184, 2006.

Gómez-Peláez, A. J., Ramos, R., «Installation of a new gas chromatograph at Izaña GAW station (Spain) to measure CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, and SF<sub>6</sub>» in GAW Report (No. 186) of the «14th WMO/IAEA meeting of experts on Carbon dioxide, other greenhouse gases, and related tracers measurement techniques (Helsinki, Finland, 10-13 September 2007)», edited by Tuomas Laurila, World Meteorological Organization (TD No. 1487), 55-59, 2009.

Gómez-Peláez, A. J., Ramos, R., «Improvements in the Carbon Dioxide and Methane Continuous Measurement Programs at Izaña Global GAW Station (Spain) during 2007-2009», in GAW report (No. 194) of the «15th WMO/IAEA Meeting of Experts on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Tracer Measurement Techniques (Jena, Germany; September 7-10, 2009)», edited by Willi A. Brand, World Meteorological Organization (TD No. 1553), 133-138, 2011.

Gómez-Peláez, A. J., R. Ramos, V. Gómez-Trueba, R. Campo-Hernández, E. Dlugokencky, T. Conway, «New improvements in the Izaña (Tenerife, Spain) global GAW station in-situ greenhouse gases measurement program» in GAW report (No. 206) of the «16th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Measurement Techniques (GGMT-2011) (Wellington, New Zealand, 25-28 October 2011)», edited by Gordon Brailsford, World Meteorological Organization, 76-81, 2012.

Gómez-Peláez, A. J., Ramos, R., Gómez-Trueba, V., Novelli, P. C., and Campo-Hernández, R.: A statistical approach to quantify uncertainty in carbon monoxide measurements at the Izaña global GAW station: 2008-2011, *Atmos. Meas. Tech.*, 6, 787-799, doi:10.5194/amt-6-787-2013, 2013.

Gómez-Peláez, A. J., R. Ramos, V. Gómez-Trueba, R. Campo-Hernández, E. Reyes-Sánchez: «Izaña Global GAW station greenhouse-gas measurement programme. Novelities and developments during October 2011-May 2013» in GAW report (No. 213) of the «17th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Measurement Techniques (Beijing, China, June 10-14, 2013)», edited by P. Tans and C. Zellweger, World Meteorological Organization, 77-82, 2014.

Gómez-Peláez, A. J., R. Ramos, V. Gómez-Trueba, R. Campo-Hernández, E. Reyes-Sánchez: «GGMT-2015 Izaña station update: instrumental and processing software developments, scale updates, aircraft campaign, and plumbing design for CRDS» in GAW report (No. 229) of the «18th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Measurement Techniques (GGMT) (La Jolla, CA, USA, 13-17 September, 2015)», edited by P. Tans and C. Zellweger, World Meteorological Organization, 125-131, 2016.

Gómez-Peláez, A. J., Ramos, R., Cuevas, E., Gómez-Trueba, V., and Reyes, E.: Atmospheric CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and CO with CRDS technique at the Izaña Global GAW station: instrumental tests, developments and first measurement results, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/amt-2017-375>, en revisión, 2017.

Gómez-Peláez, A. J., Ramos, R., Cuevas, E., Gómez-Trueba, V., and Reyes, E.: Atmospheric CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and CO with the CRDS technique at the Izaña Global GAW station: instrumental tests, developments, and first measurement results, *Atmos. Meas. Tech.*, 12, 2043-2066, <https://doi.org/10.5194/amt-12-2043-2019>, 2019.

Scheel, H.E. (2009), System and Performance Audit for Nitrous Oxide at the Global GAW Station Izaña, Tenerife, Spain, November

- 2008, WCC-N2O Report 2008/11, [http://www.aemet.izana.org/publications/Rep\\_WCCN2O\\_2008\\_IZOAudit.pdf](http://www.aemet.izana.org/publications/Rep_WCCN2O_2008_IZOAudit.pdf)
- Shirai, T., M. Ishizawa, R. Zhuravlev, A. Ganshin, D. Belikov, M. Saito, T. Oda, V. Valsala, A. J. Gómez-Peláez, R. Langenfelds, and S. Maksyutov: A decadal inversion of CO<sub>2</sub> using the Global Eulerian-Lagrangian Coupled Atmospheric model (GELCA): sensitivity to the ground-based observation network, *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, Vol. 69, Iss. 1, 2017.
- Thoning, K. W., P. P. Tans, and W. D. Komhyr: Atmospheric carbon dioxide at Mauna Loa Observatory, 2. Analysis of the NOAA/GMCC data, 1974-1985., *J. Geophys. Res.*, 94, 8549-8565, 1989.
- Tsuruta, A., Aalto, T., Backman, L., Hakkarainen, J., van der Laan-Luijkx, I. T., Krol, M. C., Spahni, R., Houweling, S., Laine, M., Dlugokencky, E., Gómez-Peláez, A. J., van der Schoot, M., Langenfelds, R., Ellul, R., Arduini, J., Apadula, F., Gerbig, C., Feist, D. G., Kivi, R., Yoshida, Y., and Peters, W.: Global methane emission estimates for 2000-2012 from CarbonTracker Europe-CH4 v1.0, *Geosci. Model Dev.*, 10, 1261-1289, doi:10.5194/gmd-10-1261-2017, 2017.
- Yuan, Y., Ries, L., Petermeier, H., Steinbacher, M., Gómez-Peláez, A. J., Leuenberger, M. C., Schumacher, M., Trickl, T., Couret, C., Meinhardt, F., and Menzel, A.: Adaptive selection of diurnal minimum variation: a statistical strategy to obtain representative atmospheric CO<sub>2</sub> data and its application to European elevated mountain stations, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 1501-1514, <https://doi.org/10.5194/amt-11-1501-2018>, 2018.
- Zellweger, Christoph, et al. (2009): System and Performance Audit of Surface Ozone, Carbon Monoxide, Methane and Nitrous Oxide at the Global GAW Station Izaña, Spain, March 2009, WCC-Empa Report 09/1, [http://gaw.empa.ch/audits/IZO\\_2009.pdf](http://gaw.empa.ch/audits/IZO_2009.pdf)
- Zellweger, C., M. Steinbacher, B. Buchmann, R. Steinbrecher (2015): System and Performance Audit of Surface Ozone, Methane, Carbon Dioxide, Nitrous Oxide and Carbon Monoxide at the Global GAW Station Izaña, September 2013. WCC-Empa Report 13/2, [http://gaw.empa.ch/audits/IZO\\_2013.pdf](http://gaw.empa.ch/audits/IZO_2013.pdf)
- World Data Centre for Greenhouse Gases (WDCGG), WMO WDCGG Data Summary, GAW Data (Volume IV-Greenhouse Gases and Other Atmospheric Gases), WDCGG No. 42, Japan Meteorological Agency in Co-operation with World Meteorological Organization, 2018.

## 4.7 Personal

- Dr. Emilio Cuevas (AEMET; nuevo coordinador del programa);  
 Pedro Pablo Rivas Soriano (AEMET; software y procesamiento de datos);  
 Ramón Ramos (AEMET; jefe de instrumentación e infraestructuras);  
 Enrique Reyes (AEMET; software y procesamiento de datos);  
 Vanessa Gómez Trueba (Air Liquide);  
 Dr. Ángel Gómez Peláez (AEMET; anterior jefe del programa), dejó el CIAI en octubre de 2017.

## 5 Gases reactivos y ozonosondas

### 5.1 Principales objetivos científicos

Los principales objetivos científicos de este programa son los siguientes:

- Realizar observaciones de alta calidad a largo plazo de gases reactivos ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ) tanto en la troposfera libre (FT) como en la capa límite marina (CLM) para apoyar otros programas de medición en el CIAI.
- Llevar a cabo observaciones y análisis de alta calidad a largo plazo del  $\text{O}_3$  troposférico en la TL y en la CLM.
- Desarrollar estudios de calidad del aire en condiciones urbanas y de fondo.
- Realizar análisis del transporte de contaminantes a larga distancia (por ejemplo, transporte de contaminación antropogénica y procedente de incendios forestales desde América del Norte).
- Estudiar el impacto del polvo y del vapor de agua en el  $\text{O}_3$  troposférico.
- Analizar y caracterizar la alta troposfera y baja estratosfera (UTLS).
- Analizar los procesos de intercambio entre la estratosfera y la troposfera.

### 5.2 Programa de mediciones

El programa de medición de gases reactivos ( $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$ ) (figura 5.1) incluye la realización de observaciones a largo plazo en el IZO, el SCO y el BTO (véanse las tablas 3.2, 3.4 y 3.5) y de perfiles verticales de ozono en Tenerife (actualmente en el BTO). Además, el CIAI (por medio de AEMET y del INTA) desarrolla una colaboración a largo plazo con el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina (SMN), en el marco de la cual se miden los perfiles verticales de ozono en la estación mundial de la VAG de Ushuaia (Argentina). Las mediciones de  $\text{O}_3$  superficial comenzaron en 1987, las de  $\text{CO}$  en 2004 y las de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  se iniciaron en 2006 en el IZO. En el SCO, las mediciones de  $\text{O}_3$  superficial comenzaron en 2001 y los programas de  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  también se pusieron en marcha en 2006.



Figura 5.1. Analizadores de gases reactivos. A la izquierda, Observatorio Atmosférico de Izaña; a la derecha, Observatorio de Santa Cruz.

Los detalles del programa de medición de gases reactivos y ozonosondeos se describen en González (2012) y Cuevas *et al.* (2013). El programa de  $\text{O}_3$  superficial se considera particularmente importante en el IZO debido tanto a las condiciones de troposfera libre del lugar como a la calidad y extensión de la serie de datos. En la fig. 5.2 se muestra la serie temporal casi ininterrumpida de 32 años de  $\text{O}_3$  superficial en el IZO. Los datos de  $\text{O}_3$  superficial en el IZO se han calibrado con respecto a referencias que son trazables al fotómetro de  $\text{O}_3$  de referencia del Instituto Nacional de Normas y Tecnología (NIST) de los Estados Unidos de América (Gaithersburg, Maryland, EE. UU.). El programa de  $\text{O}_3$  superficial en el IZO ha sido auditado por el Centro Mundial de Calibración para el ozono superficial, el monóxido de carbono, el metano y el dióxido de carbono (WCC-Ozone- $\text{CO}$ - $\text{CH}_4$ - $\text{CO}_2$ -EMPA) en 1996, 1998, 2000, 2004, 2009, 2013 y 2019.

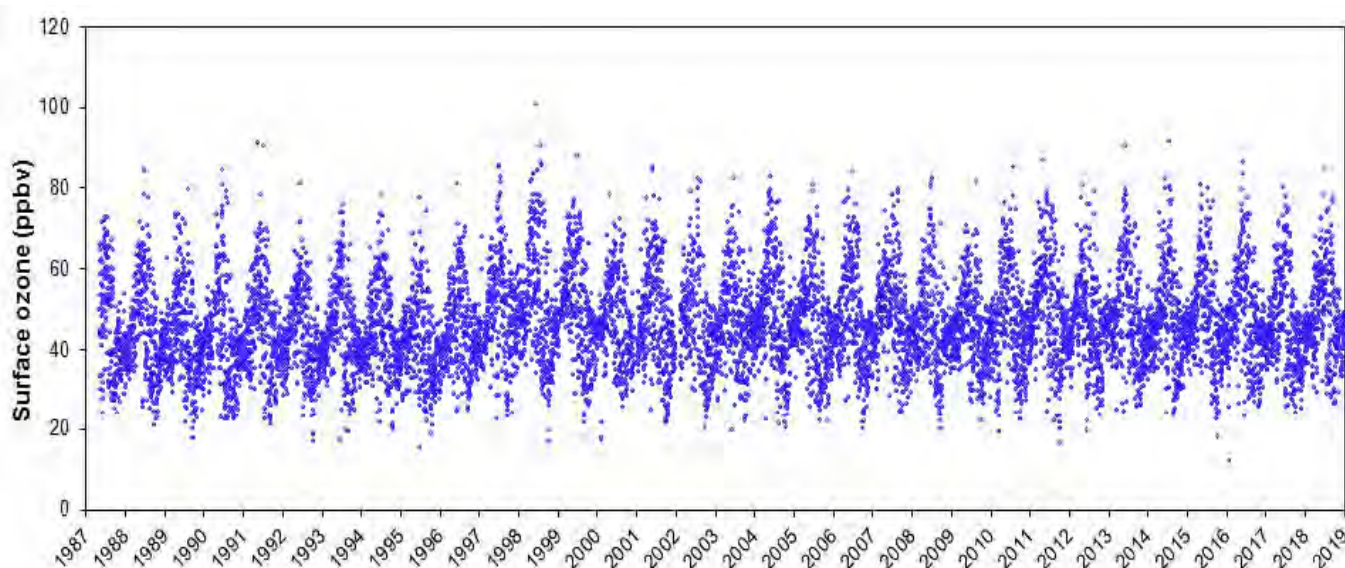


Figura 5.2. Serie de larga duración del  $\text{O}_3$  superficial diario (periodo nocturno) medida en el IZO (1987-2018).



Además, cada tres meses todos los analizadores de  $O_3$  superficial se verifican con el calibrador TEI 49C-PS #56085-306 de la estación, el cual se calibró con la referencia de ozono SRP #15 del WCC-EMPA para verificar posibles desviaciones en los instrumentos. El error debe ser inferior al 1 % para que se considere que el instrumento no ha cambiado y que, por tanto, mantiene la calibración del WCC-EMPA.

Siguiendo las recomendaciones de la auditoría de 2013 del EMPA, se compró el nuevo analizador de ozono superficial TEI 49i #1153030026, que comenzó a operar en el IZO el 7 de diciembre de 2015. Durante el periodo 2016-2018, el instrumento se intercomparó con los analizadores de  $O_3$  primario y secundario, y regularmente (cada 3 meses) se calibró con respecto al calibrador de la estación. Este instrumento pronto será designado como el nuevo analizador primario mientras que el analizador primario actual se instalará durante 2019 en el Observatorio del Pico del Teide (TPO). En el segundo semestre de 2018, los tres analizadores de  $O_3$  superficial se calibraron utilizando el TEI 49-PS para prepararse para la auditoría del WCC-EMPA que tuvo lugar en mayo de 2019. También se realizaron análisis meticulosos para definir cuáles de estos analizadores serían los analizadores primario y secundario del IZO, y cuál de ellos se instalaría en la estación del TPO.

Los instrumentos de  $NO_x$  y  $SO_2$  del IZO generalmente operan por debajo del límite de detección (50 pptv) durante el periodo nocturno, cuando es posible garantizar condiciones de fondo. Sin embargo, estas mediciones son bastante útiles para estudios de contaminación local o regional durante el día, cuando las concentraciones se ven moduladas por el régimen de brisas de valle y montaña, y ayudan a comprender el impacto de la contaminación regional. González (2012) proporciona una descripción detallada de estos programas de medición, incluidos los protocolos de control y garantía de calidad.

Con el fin de mejorar significativamente el programa de medición de  $NO$ ,  $NO_2$  y  $NO_x$ , en 2018 se solicitó un nuevo analizador de  $NO$ - $NO_2$ - $NO_x$  a través de la Convocatoria nacional de I+D de España para la financiación de infraestructuras científicas. El proyecto de infraestructura fue aprobado a finales de 2018 y se espera que los nuevos equipos estén instalados en las últimas semanas de 2019. Teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas generales del IZO, es necesario contar con un analizador de  $NO$ - $NO_2$ - $NO_x$  que ofrezca una mayor sensibilidad que el detector químico-luminiscente CLD para la determinación de  $NO$  y  $NO_2$ , con unos límites de detección del orden de 10 ppt para  $NO$  y 20 ppt para  $NO_2$ . El nuevo instrumento seleccionado es el ECO PHYSICS CraNOx II, que también tiene un doble canal para realizar mediciones simultáneas de  $NO$  y  $NO_x$ , y  $O_3$  para corregir las mediciones de  $NO_x$  de la interferencia del  $O$  durante la reacción de fotólisis.

El analizador de  $SO_2$  del IZO comenzó a mostrar signos de inestabilidad el 11 de enero de 2016, descubriéndose más tarde que su parte óptica estaba dañada al quemarse los espejos reflectantes. En enero de 2018, se reemplazaron los espejos dañados y, tras varios ajustes, el equipo volvió a estar operativo.

El programa de gases de efecto invernadero y ciclo del carbono mide el  $CO$  con gran exactitud en el IZO, siguiendo las recomendaciones de la VAG (más detalles en la sección 4). Las mediciones

de  $CO$  también se realizan en el SCO con la técnica de absorción IR no dispersiva y se utilizan con fines de investigación de la calidad del aire.

### 5.2.1 Perfiles verticales con ozonosondas

Las mediciones del perfil vertical de ozono se iniciaron en noviembre de 1992 utilizando la técnica de ozonosondas de celda de concentración electroquímica (ECC). En la tabla 5.1 se relacionan los equipos y estaciones de lanzamiento utilizados en este programa. Los lanzamientos se realizan una vez a la semana (miércoles). La frecuencia de los sondeos de ozono en esta estación aumenta significativamente durante las campañas intensivas.

Al inicio del programa, las ozonosondas se lanzaban desde la estación de Santa Cruz pero desde 2011 lo hacen desde el BTO. Este programa proporciona perfiles de ozono desde el suelo hasta el nivel de explosión (generalmente entre 30 y 35 km) con una resolución de unos 10 metros. Se supone una relación de mezcla constante por encima del nivel de explosión para la determinación del ozono residual si se ha alcanzado una altitud equivalente a 17 hPa.

Las ozonosondas se verifican antes del lanzamiento con una prueba en tierra utilizando un ozonizador/unidad de prueba TSC-1 (véase la sección 3.2.2 y la fig. 5.4). El sensor de ozono ECC utilizado es una celda electroquímica que consta de dos medias celdas hechas de teflón que actúan como cámaras de cátodo y ánodo, respectivamente, y que contienen electrodos de malla de platino. Se sumergen en una solución de KI, siempre con el mismo tipo de solución de detección (SST1.0: 1,0 % de KI y tampón de pH completo) desde el comienzo del programa de ozonosondeos (noviembre de 1992). Las dos cámaras están unidas entre sí por un puente de iones para proporcionar una ruta de iones y evitar la mezcla de los electrolitos del cátodo y el ánodo.



Figura 5.3. A la izquierda, Marcos Damas preparando la ozonosonda para el lanzamiento y, a la derecha, lanzamiento de una ozonosonda en el BTO.

Las principales características del sistema de ozonosondas que se utiliza actualmente son las siguientes (tabla 5.1):

- Sensor: ECC-6A
- Globo: TOTEX TA 1200
- Radiosonda: RS-41
- Receptor: DigiCora MW41
- Sistema de viento: GPS



Figura 5.4. Preparación de una celda electroquímica de ozono en el laboratorio de ozonosondas, BTO.



Figura 5.5. Arriba, preparación de la ozonosonda para el lanzamiento; abajo, estación de lanzamiento de ozonosondas del BTO.

Tabla 5.1. Equipamiento del programa de ozonosondeos utilizado en diferentes periodos de tiempo y estaciones de lanzamiento desde noviembre de 1992.

Fabricante del instrumento y modelo	Frecuencia	Periodo y estación de lanzamiento
<p><b>OZONOSONDAS:</b>            Nov 1992 - Sep 1997:            Science Pump Corp. Modelo ECC-5A            Sep 1997 - actualidad:            Science Pump Corp. Modelo ECC-6A</p> <p><b>EQUIPAMIENTO DE TIERRA:</b>            Nov 1992 - Oct 2010:            VAISALA. Radiovientosonda DigiCora MW11            Oct 2010- Feb 2018:            VAISALA. DigiCora MW31            Mar 2018 - actualidad:            VAISALA. DigiCora MW41</p> <p><b>RADIOSONDAS:</b>            Nov 1992 - Oct 1997:            VAISALA. RS80-15NE (Omega wind data)            Oct 1997- Sep 2006:            VAISALA. RS80-15GE (GPS wind data)            Sep 2006 - Dic 2018:            VAISALA. RS92-SGP (GPS wind data)            Dic 2018 - actualidad:            VAISALA. RS41-SGP (GPS wind data)</p>	<p>1/semana (miércoles)</p>	<p>Nov 1992 - Oct 2010:            Desde la estación de Santa Cruz            (28,46° N - 16,26° W; 36 m s.n.m.)</p> <p>Oct 2010 - Feb 2011:            Desde Santa Cruz/BTO            (en lanzamientos alternos)</p> <p>Feb 2011 - actualidad:            Desde la estación del BTO            (28,41° N - 16,53° W; 114 m s.n.m.)</p>

## 5.3 Resumen de los resultados más destacados durante el periodo 2017-2018

### 5.3.1 Software para la evaluación de datos de gases reactivos (O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y CO)

Durante 2015 y 2016 se desarrolló el software para la evaluación de datos de gases reactivos y se mejoró en 2017-2018. Este software permite realizar la evaluación y el procesamiento de los datos del programa de gases reactivos (O<sub>3</sub> superficial, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y CO). El software funciona en un entorno web que facilita las consultas con la base de datos y el procesamiento de datos.

Los datos brutos son adquiridos por un registrador CR1000 Campbell, que inspecciona cada instrumento en cada minuto. Los datos se almacenan automáticamente en una base de datos, y también se registran ceros, intervalo de medida y coeficientes de calibración de los analizadores. El software utiliza toda esta información para procesar automáticamente los datos y permite elegir el componente deseado para evaluar y visualizar su registro junto con el de otro componente y/o junto con la información meteorológica (temperatura, humedad relativa, presión y viento).

### 5.3.2 Centro Mundial de Datos sobre Gases Reactivos (WDCRG)

El Centro Mundial de Datos sobre Gases Reactivos (WDCRG) es el repositorio y archivo de datos de gases reactivos del programa de la VAG. El citado Centro se creó el 1 de enero de 2016 y asume la responsabilidad del archivo de datos sobre gases reactivos del Servicio Meteorológico del Japón, que continuará albergando el Centro Mundial de Datos sobre Gases de Efecto Invernadero (CMDGEI). Los gases reactivos alojados en el WDCRG son: el SO<sub>2</sub>, las especies de nitrógeno oxidado, el O<sub>3</sub> superficial y los compuestos orgánicos volátiles (COV). En el CIAI se ha desarrollado el software necesario para editar datos de O<sub>3</sub> superficial en el nuevo formato requerido por el WDCRG. Los datos horarios de O<sub>3</sub> superficial de 2013 a 2017 se han enviado al WDCRG (<http://ebas.nilu.no>) mientras que los datos de O<sub>3</sub> de 1987 a 2013 todavía están disponibles en el WDCRG hasta que se complete la migración a la nueva base de datos.

### 5.3.3 El proyecto de homogeneización de datos de ozonsondas y la Red para la detección de cambios en la composición de la atmósfera (NDACC)

Aunque no ha habido cambios en el fabricante de ECC O<sub>3</sub> ni en el tipo de solución de detección (Vaisala ECC-SPC5A/6A-1,0 % KI y tampón de pH completo) desde el comienzo del programa de ozonsondeos (noviembre de 1992), podría haber ocurrido cierta falta de uniformidad en el procesamiento de datos a lo largo del periodo de tiempo del programa. Esto puede dar lugar a algunas inhomogeneidades en los registros y en la serie temporal y, por tanto, puede influir drásticamente en las tendencias obtenidas a partir de dichos registros. La evaluación de procedimientos operativos normalizados para ozonsondas descrita en (ASOPOS, Smit *et al.*, 2013) puso de manifiesto que, después de la normalización y homogeneización, se podría obtener una mejora de la precisión y exactitud de, aproximadamente, un factor de dos.

Por estas razones, la OMM inició una actividad de «Evaluación de la calidad de los datos de las ozonsondas (O3S-DQA)» que perseguía los dos objetivos principales siguientes:

- 1) La homogeneización de conjuntos de datos seleccionados de ozonsondas para su utilización en la evaluación de ozono con el fin de reducir la incertidumbre desde el 10-20 % hasta un 5-10 % (con enfoque en la función de transferencia).
- 2) La documentación del proceso de homogeneización y la calidad de las mediciones de las ozonsondas en general para facilitar que los registros recientes se vinculen con los registros más antiguos.

En el contexto de la citada actividad de la VAG/OMM O3S-DQA, se seleccionaron algunas estaciones de ozonsondeo, entre ellas la del IZO, para participar en el proceso de homogeneización, siguiendo las directrices para la homogeneización de datos de ozonsondas (Smit *et al.*, 2012) preparadas por los miembros del grupo especial O3S-DQA.

El reprocesamiento realizado en la estación del IZO está siendo supervisado por el Dr. Herman Smit (Jülich Forschung Zentrum, Alemania), responsable del grupo especial O3S-DQA. Este trabajo se inició en 2016 y actualmente se orienta en dos aspectos esenciales: la estimación de las incertidumbres esperadas y la documentación detallada del reprocesamiento de los registros de ozonsonda a largo plazo.

En 2004, el Observatorio Atmosférico de Izaña se unió a la NDACC y comenzó a archivar de forma rutinaria los datos de ozonsondas en la base de datos de la NDACC; además, todos los registros de ozonsondas desde 1995 se cargaron en la NDACC en ese momento. Las ozonsondas archivadas deben cumplir los criterios de calidad de la base de datos de la NDACC. Actualmente el 94 % de los ozonsondeos realizados entre 1995 y 2018 se encuentran en la red NDACC (figura 5.6). Las ozonsondas del periodo inicial (desde noviembre de 1992 a 1994) deben reprocesarse y analizarse con cuidado. Otro objetivo de la homogeneización es recuperar estos ozonsondeos para la base de datos de la NDACC. Los datos de ozono también están disponibles en el Centro mundial de datos sobre el ozono y la radiación ultravioleta (WOUDC).

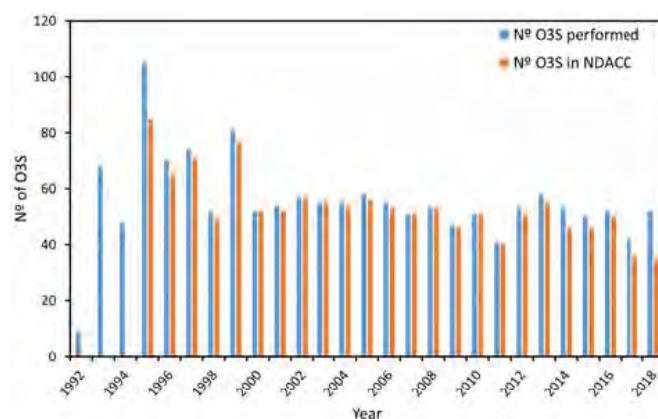


Figure 5.6. Número de ozonsondeos (O3S) lanzados desde el comienzo del programa y número de ozonsondas registradas en la red NDACC que cumplen los criterios de aseguramiento de la calidad durante el periodo 1992-2018.



### 5.3.4 El proyecto TOAR

El Informe de evaluación del ozono troposférico (TOAR): métricas globales para el cambio climático, la salud humana y el estudio de cultivos y ecosistemas, es una actividad del Proyecto Internacional de la Química de la Atmósfera Global (IGAC), aprobado por su Comité Directivo Científico el 13 de marzo de 2014. La misión del TOAR es proporcionar a la comunidad investigadora una evaluación científica actualizada de la distribución y tendencias globales del ozono troposférico desde la superficie hasta la tropopausa.



El ozono troposférico es un gas de efecto invernadero y un contaminante perjudicial para la salud humana y la productividad de los cultivos y los ecosistemas. Desde 1990, una gran parte de las emisiones antropogénicas que reaccionan en la atmósfera para producir ozono se han trasladado de América del Norte y Europa a Asia. Este rápido cambio, junto con el seguimiento limitado del ozono en los países en desarrollo, ha dejado a los científicos incapaces de responder a las preguntas más básicas: ¿qué regiones del mundo tienen la mayor exposición humana y vegetal a la contaminación por ozono?, ¿el ozono continúa disminuyendo en los países con fuertes controles de emisiones?, ¿hasta qué punto está aumentando el ozono en el mundo en desarrollo?, ¿cómo puede la comunidad de las ciencias atmosféricas facilitar el acceso a las métricas de ozono necesarias para cuantificar el impacto del ozono en la salud humana y en la productividad de cultivos y ecosistemas?

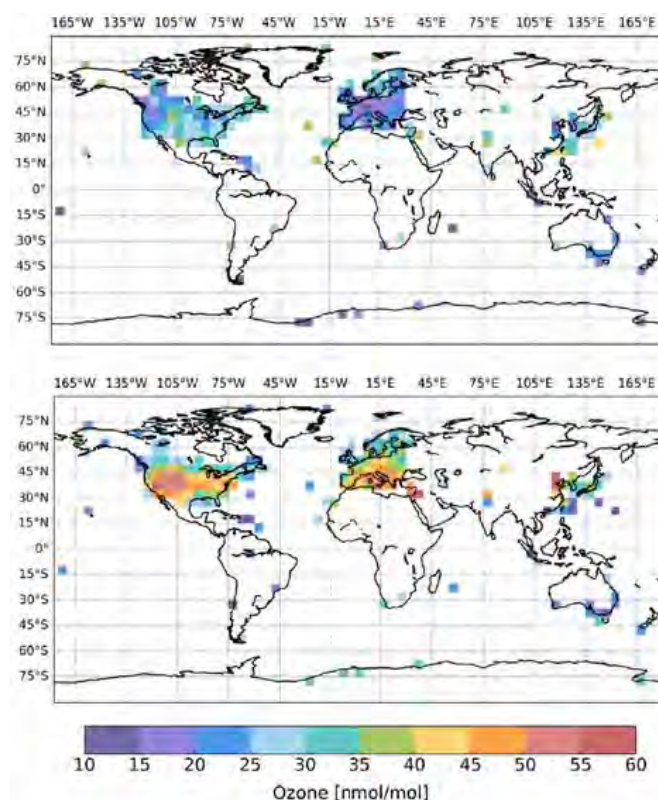
El TOAR está diseñado para responder a estas preguntas mediante el desarrollo de un informe de evaluación basado en opiniones y análisis de expertos, y la generación de una variedad de métricas de ozono en cientos de lugares en todo el mundo.

Los dos objetivos principales son: 1) producir el primer informe de evaluación del ozono troposférico basado en la literatura revisada por pares y en nuevos análisis; y 2) generar datos documentados de fácil acceso sobre la exposición al ozono y las cantidades medidas en miles de emplazamientos de todo el mundo (urbanos y no urbanos), de libre acceso para el estudio del impacto a escala mundial del ozono en el clima, la salud humana y la productividad de cultivos y ecosistemas.

### 5.3.5 TOAR: base de datos y datos métricos de observaciones globales de ozono superficial

En apoyo del primer Informe de evaluación del ozono troposférico se desarrolló una base de datos relacional de observaciones globales del ozono superficial y se completó con datos de medición horaria y metadatos mejorados (Schultz *et al.*, 2017). Se ha creado un portal de datos común y una interfaz web que aloja un conjunto completo de productos de datos de ozono que incluye estadísticas normalizadas, métricas de impactos sobre la salud y la vegetación e información sobre tendencias.

Estos datos forman la base de los análisis TOAR que se centran en la salud humana, la vegetación y las cuestiones del ozono relacionadas con el clima. La cooperación entre muchos centros de datos y el personal científico de todo el mundo hizo posible construir la mayor colección de datos de ozono superficial *in situ* por hora que abarca el periodo de 1970 a 2015. Al combinar los datos de casi 10 000 lugares de medición en todo el mundo con la información de los metadatos globales, ha sido posible realizar nuevos análisis del ozono superficial, como las primeras caracterizaciones coherentes a nivel mundial de los lugares de medición tanto urbanos como rurales y remotos.



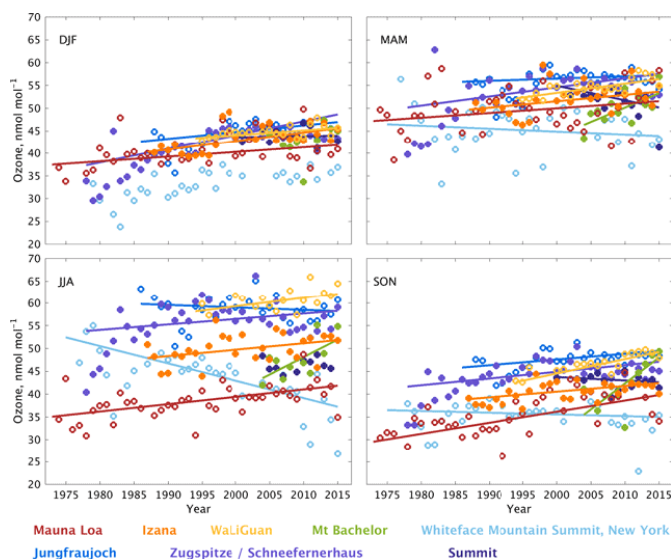
**Figura 5.7.** Fracciones molares medias mensuales de ozono durante el día (8 a 20 h horas locales) para el periodo 2010-2014 distribuidas en rejillas de  $5^\circ \times 5^\circ$  de longitud y latitud. Arriba: enero, abajo: julio. Se han incluido todas las estaciones con altitudes inferiores a 2000 m y con al menos 3 años de datos durante el intervalo. (Reproducido de Schultz *et al.*, 2017).

La explotación de estos metadatos globales facilita la obtención de nuevos conocimientos de la distribución global (por ejemplo, fig. 5.7) y los cambios estacionales y a largo plazo del ozono troposférico, y permiten al TOAR realizar el primer análisis globalmente coherente de las concentraciones de ozono actuales y de los cambios recientes de ozono con relevancia para la salud, la agricultura y el clima. Se hizo un esfuerzo considerable para armonizar y sintetizar formatos de datos e información de metadatos provenientes de diversas redes y de presentaciones de datos individuales. Se aplicó un amplio control de calidad para identificar datos dudosos y erróneos, incluidos los cambios en las compensaciones o calibraciones aparentes de los instrumentos. Estos datos se excluyeron de los productos de datos del TOAR. Las limitaciones de aplicar *a posteriori* a los datos una garantía de calidad también fueron discutidas.

Como resultado del trabajo que contribuyó al Informe de evaluación del ozono troposférico, presentado en Schultz *et al.* (2017), la cobertura mundial de datos de ozono superficial para análisis científicos se ha ampliado de manera significativa. Sin embargo, siguen existiendo grandes lagunas en la red de observación de superficie tanto en términos de regiones sin seguimiento como en términos de regiones que tienen programas de vigilancia pero que no disponen de acceso público al archivo de datos. Por lo tanto, las futuras mejoras de la base de datos requerirán no solo una mejor armonización de los datos, sino también un más amplio intercambio de los mismos y un mayor seguimiento en las regiones con escasez de datos.

### 5.3.6 TOAR: distribución y tendencias actuales del ozono troposférico con respecto al clima y a la evaluación del modelo de la química de la atmósfera global

Este estudio y el artículo correspondiente (Gaudel *et al.*, 2018), al que ha contribuido el CIAI, es un componente del informe del TOAR que se centra en la distribución y tendencias actuales del ozono troposférico con respecto al clima y a la evaluación del modelo de la química de la atmósfera global. Utilizando la base de datos de ozono superficial del TOAR, los autores presentan la distribución global y las tendencias del ozono promedio diurno en 2702 lugares de seguimiento no urbanos, destacando las regiones y estaciones del mundo con los mayores niveles de ozono. De manera similar, las observaciones realizadas por ozonsondas y aviones comerciales revelan la distribución del ozono con la altura en la troposfera libre. Las observaciones de superficie de largo plazo tienen una cobertura espacial global limitada, pero los datos de localizaciones remotas indican que el ozono en el siglo XXI es mayor que durante las décadas de 1970 y 1980 (fig. 5.8). Si bien algunos lugares remotos y muchos sitios de las regiones muy contaminadas de Asia oriental reflejan aumentos de ozono desde 2000, muchos otros muestran disminuciones y no hay un patrón global claro de cambios en el ozono superficial desde 2000.



**Figura 5.8.** Tendencias nocturnas del ozono en ocho emplazamientos montañosos del hemisferio norte para cada estación. Reproducido de Gaudel *et al.* (2018).

Dos nuevos productos satelitales proporcionan visiones detalladas del ozono en la troposfera inferior de Asia oriental y Europa, revelando la extensión espacial completa de los aumentos de ozono de la primavera y el verano en el este de China que no pueden evaluarse a partir de unas observaciones superficiales limitadas.

Actualmente se dispone de datos suficientes (ozonsondas, satélites, aviones) a través de los trópicos desde Sudamérica hacia el este hasta el océano Pacífico occidental, para indicar un probable aumento de ozono en la columna troposférica desde la década de 1990. La carga de ozono troposférico (TOB) media en el periodo 2014-2016 entre 60° N y 60° S obtenida a partir de cinco productos satelitales es de 300 Tg  $\pm$  4 %. Si bien este acuerdo es excelente, los productos difieren en su cuantificación de las tendencias de la TOB y se necesitan estudios adicionales para explicar las diferencias. Los satélites ahora pueden estimar el efecto radiativo global de onda larga del ozono, pero la evaluación es difícil debido a que las observaciones *in situ*, donde el efecto radiativo es mayor, son limitadas.

### 5.3.7 Validación de perfiles de ozono satelitales

El producto de perfil de ozono (PROFOZ) del instrumento de vigilancia del ozono (OMI) de octubre de 2004 a diciembre de 2014, recuperado por el algoritmo del Observatorio Smithsonian de Astrofísica (SAO), fue validado frente a las observaciones de ozonsondas (Huang *et al.*, 2017). En la fig. 5.9 se muestra la distribución de las estaciones de ozonsondeos utilizadas en este estudio. Los efectos de la anomalía de fila (RA) del OMI en la recuperación también se evaluaron dividiendo el conjunto de datos en antes y después de la aparición de la RA grave del OMI, es decir, pre-RA (2004-2008) y post-RA (2009-2014).

La recuperación muestra una buena concordancia con los ozonsondeos en los trópicos y en las latitudes medias y para presiones inferiores o del orden de 50 hPa en las latitudes altas. Refleja una clara mejora con respecto a la *a priori* hasta la troposfera inferior en los trópicos y hasta un promedio de alrededor de 550 (300) hPa en las latitudes medias (altas). En los trópicos y en las latitudes medias, los sesgos medios del perfil (SM) son inferiores al 6 %, y las desviaciones típicas (DT) van del 5 al 10 % para una presión inferior o del orden de 50 hPa a menos del 18 % (27 %) en los trópicos (latitudes medias) para una presión mayor o del orden de 50 hPa después de aplicar núcleos promediados de OMI a los datos del ozono.

Los SM de la columna de ozono estratosférico (COE, la columna de ozono desde la presión de la tropopausa hasta la presión de explosión de la ozonsonda) están dentro del 2 % con DT inferiores al 5 % y los SM de la columna de ozono troposférico (COT) están dentro del 6 % con DT del 15 % (fig. 5.9). En las latitudes altas, los SM del perfil están dentro del 10 % con DT del 5 al 15 % para presiones inferiores o del orden de 50 hPa, pero aumentan hasta el 30% con DT tan grandes como el 40 % para presiones mayores o del orden de 50 hPa. Los SM de la COE aumentan hasta un 3 % con DT hasta del 6 % y las DT de la COT aumentan hasta un 30 %.

La comparación generalmente se degrada para ángulos cenitales solares (SZA) más grandes debido a señales más débiles y a



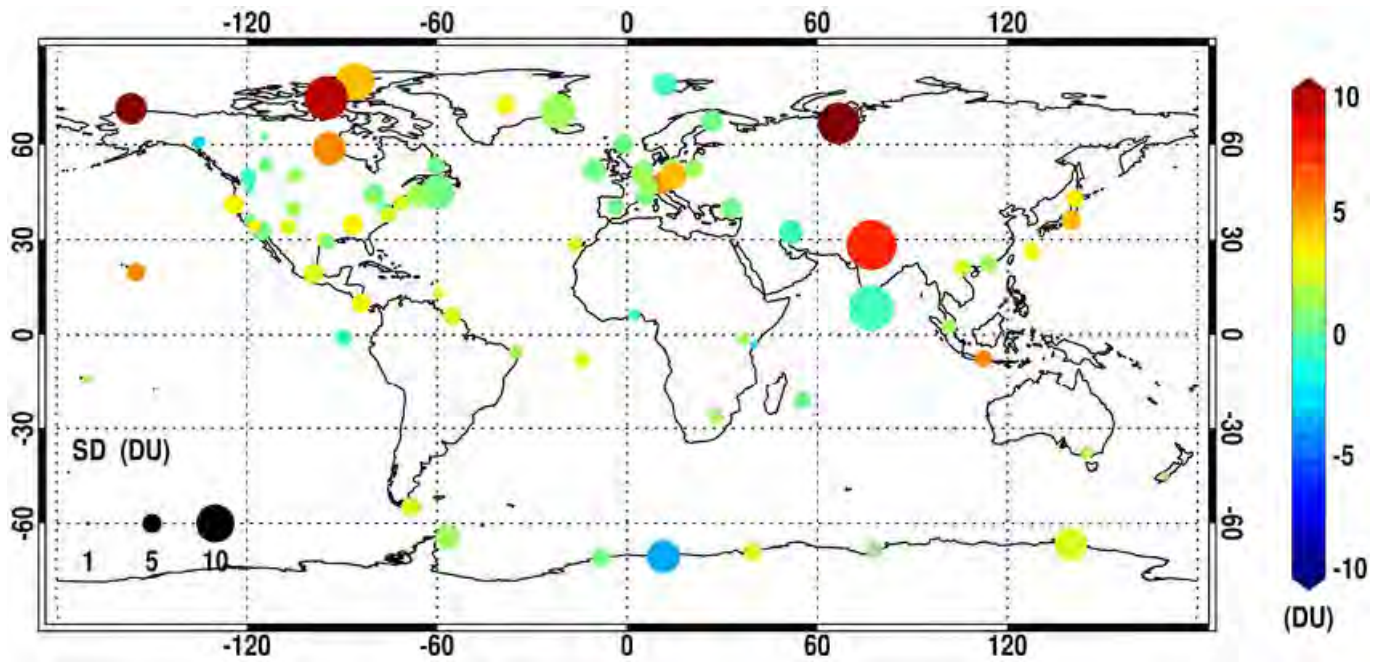


Figura 5.9. Distribución de las estaciones de ozonondeos de este estudio. El color representa los sesgos medios entre los OMI y las columnas de ozono troposférico medidas por las ozonondeas en cada estación (si el número de pares de OMI y ozonondeas es superior a 10), y el tamaño del punto representa la desviación típica. Reproducido de Huang *et al.* (2017).

fuentes adicionales de error, lo que conduce a un peor rendimiento en las latitudes altas y durante el invierno de las latitudes medias. La concordancia también se degrada con el aumento de la nubosidad a presiones mayores o del orden de 100 hPa y varía con la posición transversal, especialmente con grandes SM y DT en posiciones extremas fuera del nadir. En los trópicos y latitudes medias, la comparación post-RA es considerablemente peor con DT mayores que alcanzan el 2 % en la estratosfera, el 8 % en la troposfera y hasta el 6 % en la COT.

Existen diferencias sistemáticas que varían con la latitud con respecto a la comparación pre-RA. La comparación de la recuperación demuestra una buena estabilidad a largo plazo durante el periodo pre-RA, pero muestra una tendencia estadísticamente significativa de 0,14 a 0,7 % año<sup>-1</sup> para presiones inferiores o del orden de 80 hPa, 0,7 UD año<sup>-1</sup> en la COE y -0,33 UD año<sup>-1</sup> en la COT durante el período post-RA. La variación espacio-temporal del rendimiento de la recuperación sugiere la necesidad de mejorar la calibración radiométrica de los OMI, especialmente durante el periodo post-RA, para mantener la estabilidad a largo plazo y reducir la dependencia de la calidad de la recuperación con la latitud, la estación, el SZA y la posición transversal.

## 5.4 Referencias

- Cuevas, E., González, Y., Rodríguez, S., Guerra, J. C., Gómez-Peláez, A. J., Alonso-Pérez, S., Bustos, J., and Milford, C.: Assessment of atmospheric processes driving ozone variations in the subtropical North Atlantic free troposphere, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 1973-1998, doi:10.5194/acp-13-1973-2013, 2013.
- Gaudel, A., O. R. Cooper, G. Ancellet, B. Barret, A. Boynard, J. P. Burrows, C. Clerbaux, P.-F. Coheur, J. Cuesta, E. Cuevas, S. Doniki, G. Dufour, F. Ebojje, G. Foret, O. García, M. J. Granados-Muñoz, J. W. Hannigan, F. Hase, B. Hassler, G. Huang, D. Hurtmans, D. Jaffe, N. Jones, P. Kalabokas, B. Kerridge, S. Kulawik, B. Latter, T. Leblanc, E. Le Flochmoën, W. Lin, J. Liu, X. Liu, E. Mahieu, A. McClure-Begley, J. L. Neu, M. Osman, M. Palm, H. Petetin, I. Petropavlovskikh, R. Querel, N. Rahpoe, A. Rozanov, M. G. Schultz, J. Schwab, R. Siddans, D. Smale, M. Steinbacher, H. Tanimoto, D. W. Tarasick, V. Thouret, A. M. Thompson, T. Trickl, E. Weatherhead, C. Wespes, H. M. Worden, C. Vigouroux, X. Xu, G. Zeng, J. Ziemke: The Tropospheric Ozone Assessment Report: Present-day distribution and trends of tropospheric ozone relevant to climate and global atmospheric chemistry model evaluation, *Elem Sci Anth*, 6: 39. DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.291>, 2018.
- González, Y., Levels and origin of reactive gases and their relationship with aerosols in the proximity of the emission sources and in the free troposphere at Tenerife, PhD Thesis, Technical Note N° 12, AEMET, NIPO 281-12-016-1, July 2012.
- Huang, G., Liu, X., Chance, K., Yang, K., Bhartia, P. K., Cai, Z., Allaart, M., Ancellet, G., Calpini, B., Coetzee, G. J. R., Cuevas-Agulló, E., Cupeiro, M., De Backer, H., Dubey, M. K., Fuelberg, H. E., Fujiwara, M., Godin-Beekmann, S., Hall, T. J., Johnson, B., Joseph, E., Kivi, R., Kois, B., Komala, N., König-Langlo, G., Laneve, G., Leblanc, T., Marchand, M., Minschwaner, K. R., Morris, G., Newchurch, M. J., Ogino, S.-Y., Ohkawara, N., Piders, A. J. M., Posny, F., Querel, R., Scheele, R., Schmidlin, F. J., Schnell, R. C., Schrems, O., Selkirk, H., Shiotani, M., Skrivánková, P., Stübi, R., Taha, G., Tarasick, D. W., Thompson, A. M., Thouret, V., Tully, M. B., Van Malderen, R., Vömel, H., von der Gathen, P., Witte, J. C., and Yela, M.: Validation of 10-year SAO OMI Ozone Profile (PROFOZ) product using ozonondeo observations, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 2455-2475, <https://doi.org/10.5194/amt-10-2455-2017>, 2017.
- Schultz, M. G., Schröder, S., Lyapina, O., Cooper, O. R., Galbally, I., Petropavlovskikh, I., von Schneidmesser, E., Tanimoto, H., Elshorbany, Y., Naja, M., Seguel, R. J., Dauert, U., Eckhardt, P., Feigenspan, S., Fiebig, M., Hjøllbrekke, A.-G., Hong, Y.-D., Kjeld, P. Ch., Koide, H., Lear, G., Tarasick, D., Ueno, M., Wallasch, M., Baumgardner, D., Chuang, M.-T., Gillett, R., Lee, M., Molloy, S., Moolla, R., Wang, T., Sharps, K., Adame, J. A., Ancellet, G., Apadula,

- F., Artaxo, P., Barlasina, M. E., Bogucka, M., Bonasoni, P., Chang, L., Colomb, A., Cuevas-Agulló, E., Cupeiro, M., Degorska, A., Ding, A., Fröhlich, M., Frolova, M., Gadhavi, H., Gheusi, F., Gilge, S., González, M. Y., Gros, V., Hamad, S. H., Helmig, D., Henriques, D., Hermansen, O., Holla, R., Hueber, J., Im, U., Jaffe, D. A., Komala, N., Kubistin, D., Lam, K.-S., Laurila, T., Lee, H., Levy, I., Mazzoleni, C., Mazzoleni, L., McClure-Begley, A., Mohamad, M., Murovec, M., Navarro-Comas, M., Nicodim, F., Parrish, D., Read, K. A., Reid, N., Ries, L., Saxena, P., Schwab, J. J., Scorgie, Y., Senik, I., Simmonds, P., Sinha, V., Skorokhod, A. I., Spain, G., Spangl, W., Spoor, R., Springston, S., Steer, K., Steinbacher, M., Suharguniyawan, E., Torre, P., Trickl, T., Weili, L., Weller, R., Xu, X., Xue, L., Zhiqiang, M.: Tropospheric Ozone Assessment Report, links to Global surface ozone datasetsx. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.876108>, Supplement to: Schultz, M. G. *et al.* (2017): Tropospheric Ozone Assessment Report: Database and Metrics Data of Global Surface Ozone Observations, *Elementa - Science of the Anthropocene*, 5:58, 26 pp, <https://doi.org/10.1525/elementa.244>, 2017.
- Smit, H. G. J., Oltmans, S., Deshler, T., Tarasick, D., Johnson, B., Schmidlin, F., Stübi, R., and Davies, J.: SI2N/O3S-DQA Activity: Guide Lines for Homogenization of Ozone Sonde Data, versión de 19 de noviembre de 2012, disponible en: [http://www.das.uwyo.edu/~deshler/NDACC\\_O3Sondes/O3s\\_DQA/O3SDQA-Guidelines%20Homogenization-V2-19November2012.pdf](http://www.das.uwyo.edu/~deshler/NDACC_O3Sondes/O3s_DQA/O3SDQA-Guidelines%20Homogenization-V2-19November2012.pdf), 2012.
- Smit, H. G. J., and the Panel for the Assessment of Standard Operating Procedures for Ozonesondes (ASOPOS), Quality Assurance and Quality Control for Ozonesonde Measurements in GAW, GAW Report No. 201, World Meteorological Organization (WMO), 92 pp, 2013.

## 5.5 Personal

- Carlos Torres (AEMET; jefe del programa);  
 Dr. Emilio Cuevas (AEMET);  
 Dra. Natalia Prats (AEMET);  
 Ramón Ramos (AEMET; jefe de infraestructuras);  
 Sergio Afonso (AEMET; observador meteorológico y técnico de la VAG);  
 Virgilio Carreño (AEMET; observador meteorológico y técnico de la VAG);  
 Nayra Chinaa (SIELTEC Canarias / TRAGSATEC; técnica en calibración y ozonosondas).

## 6 Columna de ozono total y radiación ultravioleta

### 6.1 Principales objetivos científicos

El principal objetivo científico de este programa es obtener la columna de ozono total (TOC) y la radiación espectral ultravioleta (UV) con la mayor precisión y estabilidad a largo plazo que la tecnología y los conocimientos científicos actuales permiten alcanzar. Para lograr este objetivo, el grupo utiliza tres áreas interconectadas. La base es la instrumentación, que está respaldada por estrictos protocolos de AC/CC que requieren calibraciones de laboratorio y modelización teórica. Finalmente, se desarrollan bases de datos en entorno web para difundir los datos de observación.

### 6.2 Programa de mediciones

Las mediciones del ozono total y de la radiación espectral ultravioleta comenzaron en mayo de 1991 en el IZO con la instalación del espectrofotómetro Brewer #033. Las mediciones de perfiles de ozono se incorporaron en septiembre de 1992 con la obtención de dos perfiles verticales de ozono diarios (uno al amanecer y el otro al atardecer) mediante el método Umkehr. En julio de 1997, se instaló un espectrofotómetro Brewer #157 de doble monocromador en el IZO y funcionó en paralelo con el Brewer #033 durante seis meses. En 2003, se instaló un segundo Brewer #183 de doble monocromador y fue designado como



**Figura 6.1.** Miembros del programa de ozono total y radiación ultravioleta con la tríada de espectrofotómetros Brewer del RBCC-E situada en el IZO. De izquierda a derecha: Virgilio Carreño, Francisco Parra Rojas, Alberto Redondas, Sergio León Luis y Javier López Solano.

referencia itinerante del Centro Regional de Calibración Brewer para Europa (RBCC-E).

En 2005, se instaló un tercer Brewer #185 doble que completa la tríada de referencia del RBCC-E (fig. 6.1). El programa de medición se completó con la instalación de un espectrorradiómetro Pandora en octubre de 2011. En la tabla 6.1 se resumen las especificaciones técnicas de los citados instrumentos Brewer y Pandora.

**Tabla 6.1.** Especificaciones técnicas de los espectrofotómetros.

Brewer	
Longitudes de onda en la rendija	O <sub>3</sub> (nm): 303,2 (rendija de Hg); 306,3; 310,1; 313,5; 316,8; 320,1
Calibración Hg (modo O <sub>3</sub> )	302,15 nm
Resolución	0,6 nm en el UV; aproximadamente 1 nm en el visible
Estabilidad	±0,01 nm (en todo el rango de temperaturas)
Incertidumbre	0,006 ± 0,002 nm
Rango de medición (UVB)	286,5 nm a 363,0 nm (en el UV)
Ciclo de medición en la máscara de la rejilla de salida	0,12 s/rejilla, 1,6 s para el ciclo completo
Exactitud en la medición del O <sub>3</sub>	±1 % (para el ozono total medido directamente al sol)
Rango de temperatura ambiente de funcionamiento	0 °C a +40 °C (sin calefactor) -20 °C a +40 °C (con opción de calefactor) -50 °C a +40 °C (con el kit completo para condiciones de frío)
Dimensiones físicas (contenedor externo resistente a la intemperie)	Tamaño: 71 cm × 50 cm × 28 cm Peso: 34 kg
Fuente de alimentación (Brewer y rastreador)	3 A @ AC 80 a 140 V (con opción de calefactor) 1,5 A @ AC 160 a 264 V 47 a 440 Hz
Pandora	
Rango espectral del instrumento	265-500 nm
Ventana espectral para el ajuste del NO <sub>2</sub>	370-500 nm
Resolución espectral	±0,4 nm
Tiempo total de integración	20 s
Número de exploraciones por ciclo	50-2500
Muestreo espectral de los espectrómetros de rejilla	3 pixeles por valor de anchura a media altura (FWHM)



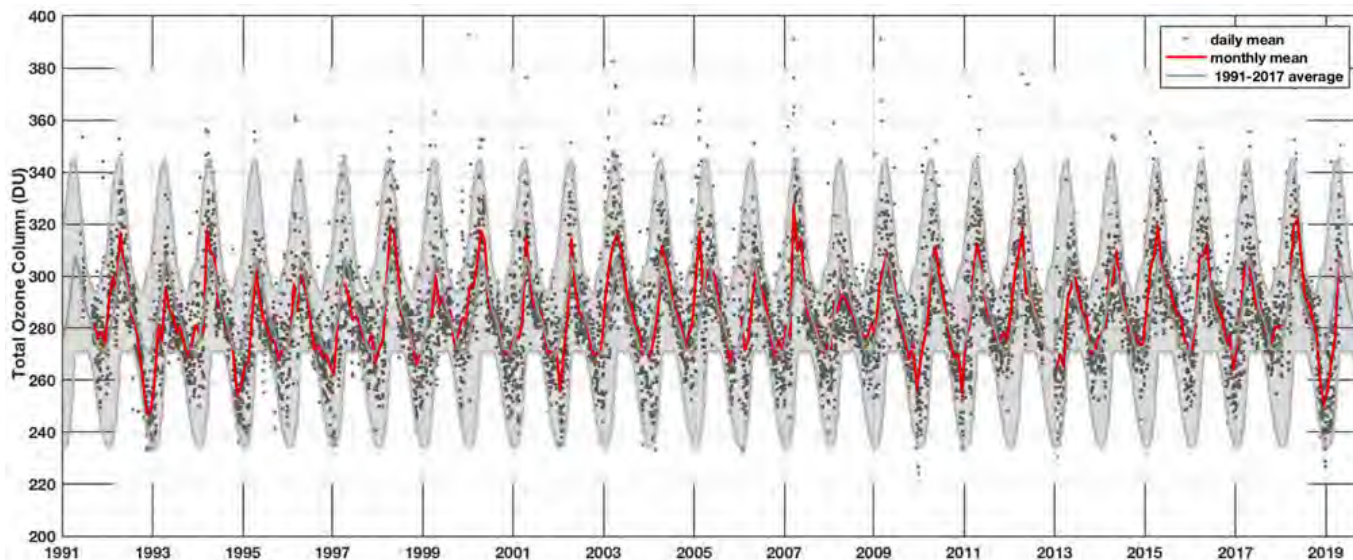


Figura 6.2. Series de ozono total del Observatorio Atmosférico de Izaña (1991-2018) con la media diaria (en puntos grises) y la media mensual (en rojo); también se muestra la media a largo plazo del período 1991-2018 (línea gris) donde el área sombreada corresponde a la desviación típica en la media a largo plazo.

Las mediciones espectrales de UV se controlan de forma rutinaria mediante las instalaciones de calibración del IZO. La estabilidad y el rendimiento de la calibración UV se monitorizan mediante la realización de test de lámpara de 200 W dos veces al mes. Cada seis meses, los Brewer se calibran en un cuarto oscuro de laboratorio, con lámparas DXW de 1000 W trazables a las referencias del Centro Radiométrico Mundial (CRM). La herramienta de software SHICrvm se utiliza para analizar los aspectos de calidad de los espectros UV medidos antes de transferir los datos a las bases de datos. Además, regularmente se realizan comparaciones entre modelos y mediciones. Cada año, el Brewer #185 se compara con el espectrorradiómetro de referencia portátil internacional de la Garantía de la calidad de las mediciones espectrales de la radiación ultravioleta en Europa (QASUME) del Observatorio Físico y Meteorológico de Davos (Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos, PMOD) del CRM.

En cuanto al ozono total, la tríada Brewer cuenta con un exhaustivo control de calidad a fin de asegurar la calibración, con calibraciones rutinarias realizadas mensualmente. Con este procedimiento, se ha logrado una concordancia a largo plazo entre los instrumentos de la tríada con una incertidumbre inferior al 0,25 % en ozono.

El programa de ozono total forma parte del programa de la NDACC. En la fig. 6.2 se muestra la serie de ozono total para 1991-2018 y está disponible en el sitio web de la NDACC y en el Centro mundial de datos sobre el ozono y la radiación ultravioleta (WOUDC).

Asimismo, en la fig. 6.3 se muestran las observaciones UV obtenidas con el espectrofotómetro Brewer #157, que también están disponibles en el WOUDC.

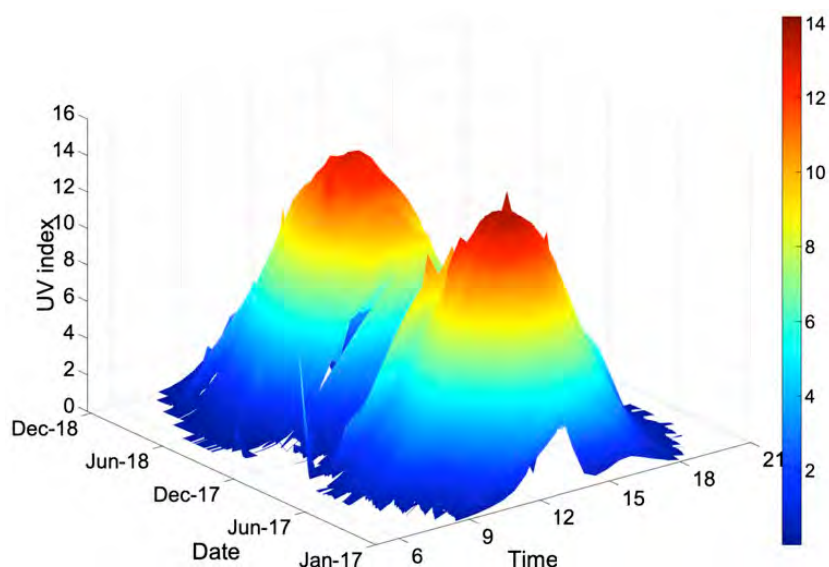


Figura 6.3. Índice UV durante el periodo 2017-2018 obtenido con el Brewer #157 en el Observatorio Atmosférico de Izaña.

### 6.3 Participación en proyectos científicos y en campañas y experimentos durante el periodo 2017-2018

La participación en proyectos científicos de este programa de medición está interconectada con las actividades del Centro Regional de Calibración Brewer para Europa (RBCC-E) (más detalles en la sección 17).

#### 6.3.1 EUBREWNET

El Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono y el subsiguiente Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono han sido algunos de los acuerdos ambientales más satisfactorios que han adoptado las naciones del mundo y en la actualidad se ha eliminado casi por completo la producción artificial de «sustancias que agotan la capa de ozono». De este modo se ha detenido la rápida disminución del ozono observada en los decenios de 1980 y 1990, y ahora resultan evidentes algunos primeros indicios prometedores de su recuperación. Por consiguiente, es importante continuar midiendo cuidadosamente el estado de la capa de ozono global a lo largo de las próximas décadas, teniendo en cuenta también que se espera que cambien las condiciones estratosféricas de acuerdo con las previsiones de una concentración en aumento de los gases de efecto invernadero, y por el hecho de que el propio ozono estratosférico tiene un efecto significativo sobre el balance de la radiación atmosférica y el clima en la superficie. Es por ello por lo que el Convenio de Viena obliga a los países signatarios a mantener programas de vigilancia sistemática del ozono estratosférico.

El espectrofotómetro Brewer para la medición del ozono ha sido, durante los últimos 30 años, el instrumento elegido para medir

esta sustancia en las estaciones terrestres en un esfuerzo por mejorar significativamente la calidad y la puntualidad de los datos. La Acción de Cooperación Europea en Ciencia y Tecnología (COST) (ES1207) estuvo activa desde abril de 2013 hasta julio de 2017 para formar la Red europea de espectrofotómetros Brewer (EUBREWNET). En Rimmer, Redondas y Karppinen (2018) se presentan los resultados de esta acción.

Desde finales de 2018, AEMET ha proporcionado soporte a EUBREWNET. Las actividades que se llevan a cabo son supervisadas por un comité en el seno del Grupo consultivo científico (GCC) sobre el ozono de la OMM, en el que figuran J. Rimmer (Universidad de Mánchester, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte), A. Redondas (Centro de Investigación Atmosférica de Izaña, AEMET, España), T. Kralidis (WOUDC), M. Tully (presidente del GCC sobre el O<sub>3</sub>) y C. Sinclair (presidente del GCC sobre la radiación UV). El Comité de Gestión de EUBREWNET, formado por J. Rimmer (Universidad de Mánchester, Reino Unido), A. Redondas (CIAI, AEMET, España), A. F. Bais (Universidad Aristóteles de Tesalónica, Grecia), J. Gröbner (Observatorio Físico y Meteorológico de Davos/Centro Radiométrico Mundial, Suiza), T. Karppinen (Instituto Meteorológico Finlandés, Centro de Investigaciones del Ártico, Finlandia) y V. de Book (Instituto Real Meteorológico de Bélgica) proporciona más información.

EUBREWNET se basa en el trabajo de dos centros de calibración europeos, el RBCC-E y el CRM. El primero de ellos juega un papel clave en EUBREWNET, coordinando la normalización del funcionamiento, la caracterización y la calibración de los instrumentos de la red, así como proporcionando la base de datos de espectrofotómetros Brewer. Con el reconocimiento actual de la OMM y la Comisión Internacional del Ozono (IO3C), el RBCC-E representa una red extremadamente valiosa de puntos de



Figura 6.4. Localización de las estaciones Brewer que participan actualmente en EUBREWNET. La red comenzó como una red europea, pero ahora incluye cerca de 50 estaciones situadas por todo el mundo.



obtención de datos de estaciones terrestres sin los cuales los instrumentos espaciales no podrían funcionar con ningún grado de exactitud. Hoy en día, a la hora de tratar de identificar tasas de recuperación de ozono del 1 % por década, resulta muy importante contar con datos exactos y coherentes en todas las estaciones.

El propósito de EUBREWNET es armonizar observaciones, procesamiento de datos, calibraciones y procedimientos operativos para que las mediciones realizadas en una estación sean completamente coherentes con las llevadas a cabo en todas las demás. Además, los espectrofotómetros Brewer también se utilizan para medir la irradiancia UV espectral, la columna de dióxido de azufre y el espesor óptico de los aerosoles. Algunos espectrofotómetros Brewer también pueden medir la columna de dióxido de nitrógeno. Esta red Brewer (fig. 6.4) constituye la red UV terrestre armonizada más grande del mundo y puede utilizarse para su asimilación en tareas de recuperación de datos satelitales y en modelos para mejorar en gran medida la exactitud de los datos de satélite y de las predicciones. Otro punto importante es el vínculo con el cambio climático: en este contexto se sigue considerando que el ozono troposférico y los aerosoles constituyen las mayores fuentes de incertidumbre de los modelos climáticos. Los instrumentos Brewer son adecuados para medir la columna de ozono total, que incluye el ozono troposférico y estratosférico, mientras que los satélites se ocupan de altitudes inferiores.

El funcionamiento real de la red (fig. 6.5) se puede resumir de la siguiente manera:

- Las transferencias de datos automatizadas a la base de datos central comenzaron en septiembre de 2014. El actual envío de datos se volvió automático con poca participación del operador, mejorándose así los ritmos generales de envío.
- Los datos de calibración se almacenan en una base de datos central, lo que permite el procesamiento centralizado de los datos de todas las estaciones, y garantizar la coherencia y el uso de calibraciones y procesamientos actualizados.
- Caracterización del sitio. Hay un procesamiento central de datos además del procesamiento en la estación e incluye una parte del control de calidad mediante comparación y algoritmos de última generación.
- Reprocesamiento centralizado. Datos históricos o cambios en las constantes recomendados por el GCC sobre el ozono de la OMM.
- Se pueden identificar con facilidad las estaciones con sistemas centralizados de aseguramiento y control de la calidad

(AC/CC validados en un solo lugar) que presenten algún problema.

- Datos en tiempo casi real. Esencial para validar en tiempo casi real los datos de satélite y las asimilaciones de modelos.

Como se mencionó anteriormente, AEMET ha brindado apoyo a EUBREWNET desde finales del año 2018. Las actividades previstas para el trienio 2018-2021 incluyen la puesta en marcha de:

- un sistema de presentación automática para los productos de ozono de niveles 1.0 y 1.5 al Centro mundial de datos sobre el ozono y la radiación ultravioleta de la OMM;
- un sistema de envío automático de los datos de ozono en tiempo casi real (NRT) a la base de datos de la NDACC;
- el producto UV en tiempo casi real (NRT UV) de nivel 1,5;
- el producto AOD en tiempo casi real (NRT AOD) de nivel 1,5.

Rimmer *et al.* (2017) presentaron una descripción general de la red EUBREWNET de la acción COST europea a la Secretaría del Ozono del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con motivo de la “Décima reunión de los administradores de investigaciones sobre el ozono de las Partes del Convenio de Viena”, que se celebró en Ginebra, del 28 al 30 de marzo de 2017. En la misma reunión, Redondas (2017a) presentó el Informe Regional de Europa del Sur.

Durante el periodo 2017-2018, en el marco de EUBREWNET, el CIAI participó en las siguientes publicaciones científicas revisadas por pares (Lakkala *et al.*, 2018a; León-Luis *et al.*, 2018a; López-Solano *et al.*, 2018; Redondas *et al.*, 2018a, 2018b; Rimmer *et al.*, 2018; y Zerefos *et al.*, 2017) y en diversas conferencias y talleres (p. ej. León-Luis *et al.*, 2018b, 2018c; López-Solano *et al.*, 2018b).

Además, durante 2017-2018 EUBREWNET ha facilitado otros estudios científicos (por ejemplo, Carlund *et al.*, 2017; Siani *et al.*, 2018; Stübi *et al.*, 2017).

Por último, cabe destacar que EUBREWNET, junto con la OMM y el PNUMA, desempeña un papel muy activo en el campo de la creación de capacidad, particularmente en los países del Artículo 5. Entre las actividades correspondientes figuran la organización de cursos y talleres para operadores, que ofrecen instrucción avanzada e intercambio de conocimientos utilizando la considerable experiencia en el seno de EUBREWNET (más información en la sección 17.5.5).

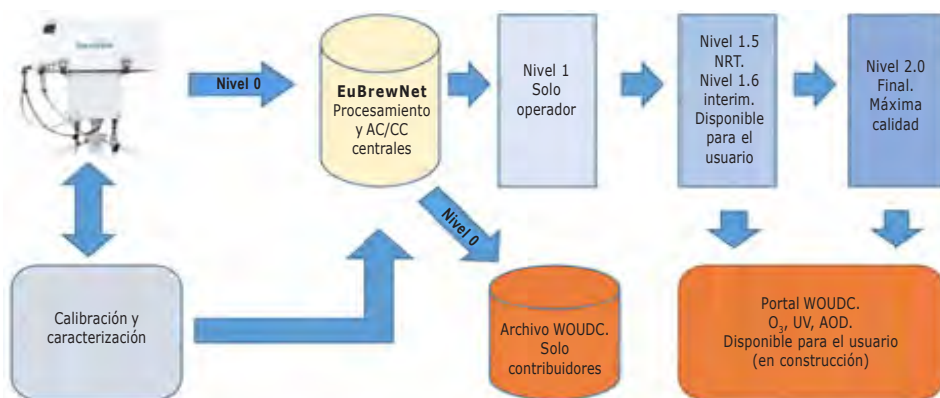


Figura 6.5. Arquitectura de la base de datos de EUBREWNET.



### 6.3.2 Detección de SO<sub>2</sub> volcánico con espectrofotómetros Brewer

El CIAI contribuyó a un estudio que utilizó datos Brewer de la columna de dióxido de azufre (fig. 6.6), que pone de manifiesto que las cantidades en columnas de SO<sub>2</sub> han aumentado significativamente después de las cinco mayores erupciones volcánicas de la última década en el hemisferio norte (Zerefos *et al.*, 2017). Todas las redes existentes detectaron una fuerte señal positiva, ya sea en tierra (Brewer, EARLINET, AirBase) o desde satélites (OMI, GOME-2).

El estudio examina en particular la idoneidad de la red Brewer existente para detectar plumas de SO<sub>2</sub> de origen volcánico en comparación con otras redes y plataformas satelitales. La comparación con las recuperaciones espaciales de datos de SO<sub>2</sub> obtenidas por los instrumentos OMI y GOME-2 muestra un acuerdo estadísticamente significativo entre los datos de la red Brewer y las pasadas de los satélites posicionados. Queda claro que el instrumento Brewer es capaz de detectar aumentos significativos de SO<sub>2</sub> en columna después de grandes erupciones volcánicas, cuando los niveles de SO<sub>2</sub> se elevan muy por encima del ruido instrumental de las observaciones diarias, estimado en el orden de 2 UD.

Un ejercicio con modelos del proyecto MACC demuestra que los grandes aumentos de SO<sub>2</sub> en Europa que siguieron a la erupción del volcán Bárðarbunga en Islandia no fueron debidos a fuentes locales o a emisiones de barcos, sino que están claramente relacionados con la erupción. Zerefos *et al.* (2017) propusieron la creación de una herramienta útil para predecir valores altos de SO<sub>2</sub> después de futuras erupciones, tanto a nivel del suelo como en los corredores de vuelo, al combinar los datos Brewer con los de otras redes y satélites con la ayuda de análisis de trayectorias y modelización numérica.

### 6.3.3 ATMOZ

El proyecto de investigación conjunto de Trazabilidad de la columna de ozono atmosférico total (ATMOZ) del Programa europeo de investigación en metrología (EMRP) se inició para mejorar significativamente la fiabilidad de la columna de ozono

total que se mide en la superficie de la Tierra. Desde su inicio en 2014 y hasta su conclusión en 2017, este proyecto ha conseguido importantes progresos a la hora de explicar las diferencias y de cuantificar las incertidumbres de la red Brewer de vigilancia mundial por lo que respecta a las mediciones de la columna de ozono total, que presentan una incertidumbre general de alrededor del 1 al 2 %.

El análisis realizado de los principales instrumentos utilizados en las redes de observación (Dobson y Brewer) en este proyecto, incluyó anchos de banda, correcciones de temperatura operativa y correcciones de luz parásita. Este estudio condujo a aumentar la coherencia entre estos instrumentos y el espectrofotómetro Brewer de referencia del RBCC-E. El proyecto también ha proporcionado los fundamentos técnicos y científicos necesarios para reemplazar instrumentos obsoletos por otros más económicos, robustos y exactos de última generación con el fin de detectar la recuperación del escudo protector de ozono de todo el planeta durante las próximas décadas.

El estudio puso de relieve que un espectrorradiómetro de alta precisión y bajo nivel de ruido desarrollado recientemente resulta adecuado como futuro instrumento de referencia para recuperar datos de ozono utilizando el espectro completo en la banda UV. La irradiancia solar terrestre medida durante la campaña ATMOZ realizada en el Observatorio de Izaña en 2016, permitió determinar un espectro solar extraterrestre de alta resolución (Gröbner *et al.*, 2017a), que se utilizará para homogeneizar las recuperaciones de datos de la columna de ozono total.

El informe final del proyecto (Gröbner *et al.*, 2017b) está disponible en la web en el siguiente enlace: <https://www.euramet.org/research-innovation/search-researchprojects/details/project/traceability-for-atmospheric-totalcolumn-ozone/>. El CIAI participó en varias publicaciones de ATMOZ durante el periodo 2017-2018, como Berjón *et al.*, 2018; El Gawhary *et al.*, 2017a; Fountoulakis *et al.*, 2017 y Köhler *et al.*, 2018. El último taller de ATMOZ se llevó a cabo en El Arenosillo el 2 de junio de 2017 durante la XII Campaña de Calibración del RBCC-E (más detalles en la sección 17.5.5). El CIAI participó en varias presentaciones que tuvieron lugar en este taller (Berjón *et al.*, 2017; El Gawhary *et al.*, 2017b; Redondas 2017b y Redondas *et al.*, 2017).

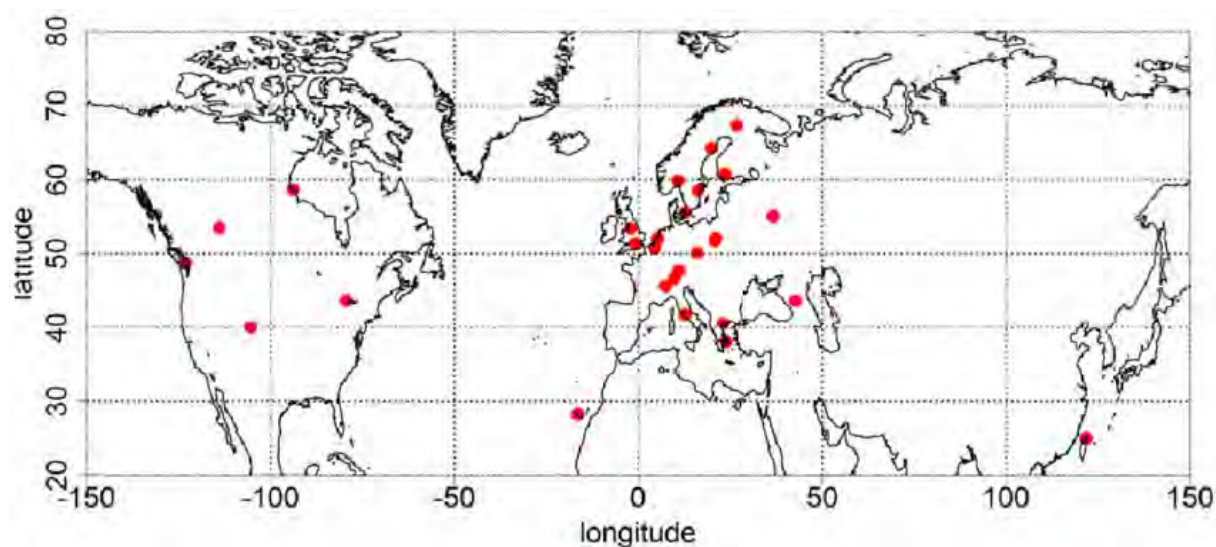


Figura 6.6. Estaciones con datos Brewer accesibles de columna de SO<sub>2</sub> analizados en este estudio. Reproducido de Zerefos *et al.*, (2017).

### 6.3.4 Red global Pandonia



El sistema espectrométrico Pandora es un instrumento terrestre de teledetección pasiva solar, celeste y lunar destinado a la recuperación de datos de gases traza en las longitudes de onda espectrales de los rangos ultravioleta y visible. Fue desarrollado en 2005 por la NASA y la empresa Sciglob, y desde entonces el citado sistema espectrométrico ha evolucionado, con la participación en varias campañas de campo como DISCOVER-AQ, CINDI 1 y 2, ATMOZ 2016, y las campañas OWLETS y LISTOS de 2018. La red Pandonia, financiada por la ESA a través de la empresa LuftBlick, ha unificado los procedimientos operativos y de calibración de los instrumentos Pandora desde 2011.

La NASA y la ESA están colaborando en la actualidad para coordinar una red global en expansión de instrumentos Pandora normalizados y calibrados para medir la calidad del aire y la composición atmosférica. Con esta colaboración, la red Pandonia se ha convertido en la Red global Pandonia (PGN), que se caracteriza por la calibración homogénea de la instrumentación, los bajos costos de fabricación y operación de los instrumentos, una asistencia operativa remota, y el procesamiento y formateo centralizados de los datos para la entrega en tiempo casi real de los productos de datos finales.

Un importante objetivo conjunto es el de apoyar la validación y verificación de más de una docena de satélites de órbita terrestre baja (LEO) y de órbita geoestacionaria (GEO), en particular Sentinel 5P, TEMPO, GEMS y Sentinel 4.

Los participantes en las actividades de la PGN son en su mayor parte investigadores y técnicos gubernamentales y del mundo académico. La creación de la PGN a principios de 2018 representa un cambio programático por parte de la NASA y la ESA que se aleja de la operación y el respaldo a la investigación y las campañas de campo para centrarse prioritariamente en el establecimiento de localizaciones fijas a largo plazo que proporcionan series largas de observación de calidad de la columna total y de las concentraciones resueltas verticalmente de una variedad de gases traza. Entre los principales gases traza observados por los sistemas Pandora en el rango de longitudes de onda de 280 a 530 nm figuran: O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, HCHO, SO<sub>2</sub> y BrO.

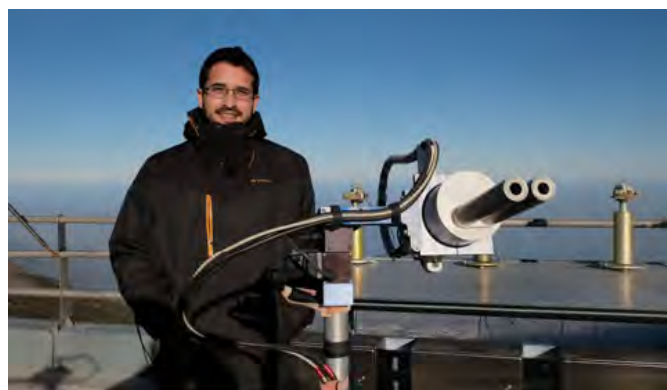
Los instrumentos de referencia de la Red global Pandonia se montarán en el IZO, donde ya hay dos instrumentos instalados: el Pandora 121 (modelo Pandora 2 s, con espectrómetros UV + VIS, instalado en abril de 2016) y el Pandora 101 (modelo Pandora 1 s, solo UV, instalado en julio de 2011, pero con una importante actualización del hardware llevada a cabo en julio de 2017). El Observatorio Atmosférico de Izaña es también un lugar de prueba de instrumentos junto con la plataforma de observación del Departamento de Física Biomédica de la Universidad Médica de Innsbruck (Austria). Todos los instrumentos de la red serán trazables a los instrumentos de referencia mediante la intercomparación con una unidad de referencia móvil que visita las localizaciones de la red, mientras que los instrumentos del IZO se calibrarán periódicamente mediante el método Langley.

Con el fin de evaluar los resultados de las futuras calibraciones Langley con respecto a los métodos de calibración oficiales de los instrumentos Pandora, se ha realizado una primera tarea de reanálisis y corrección de los archivos de calibración oficiales del Pandora 101. Se han identificado los periodos operativos que se describen en la tabla 6.2, correspondientes al intervalo de tiempo entre el 19 de julio de 2011, fecha de instalación del Pandora 101 en el IZO, y el 1 de julio de 2017, cuando finalmente se desmanteló el instrumento para llevar a cabo una importante actualización del hardware.

Con el fin de evaluar los resultados de las futuras calibraciones Langley con respecto a los métodos de calibración oficiales de los instrumentos Pandora, se ha realizado una primera tarea de reanálisis y corrección de los archivos de calibración oficiales del Pandora 101. Se han identificado los periodos operativos que se describen en la tabla 6.2, correspondientes al intervalo de tiempo entre el 19 de julio de 2011, fecha de instalación del Pandora 101 en el IZO, y el 1 de julio de 2017, cuando finalmente se desmanteló el instrumento para llevar a cabo una importante actualización del hardware.

**Tabla 6.2. Periodos operativos en la serie temporal del Pandora 101.**

Periodo	Fecha inicio	Acción de mantenimiento
1	19/07/2011	Instalación en la plataforma del IZO
2	29/08/2011	Fibra desconectada
3	04/11/2011	Fibra desconectada
4	01/03/2012	Instalación en la torre del IZO
5	03/10/2012	Cambio en el archivo de operaciones 14 bits a 16 bits ADC
6	06/03/2013	Fibra desconectada
7	20/10/2015	Fibra desconectada
8	02/03/2016	Fibra desconectada
9	01/06/2016	Fibra desconectada
10	20/06/2017	Cambio en la temperatura de operación



**Figura 6.7. Daniel Santana y el Pandora 121 instalado en el IZO.**

El algoritmo de recuperación de los datos de gases del Pandora se basa en el método DOAS, en el que las características de absorción en los espectros medidos se comparan con un espectro de referencia sin líneas de absorción para determinar la cantidad de gases traza presentes en la atmósfera.

El procesamiento oficial de Pandonia utilizaba dos configuraciones principales para las fechas de los periodos analizados, la ventana de ajuste 2 (FW2) para procesar las columnas verticales de NO<sub>2</sub> y la ventana de ajuste 5 (FW5) para procesar las cantidades de ozono en columna vertical, en unidades Dobson.



El  $O_3$  (FW5) utiliza un espectro de referencia teórico (Kurucz *et al.*, 2005) normalizado con el espectro descrito en Thuillier *et al.* (2004) con la sección transversal proporcionada por el Experimento de vigilancia del ozono mundial (GOME), a 225 K de temperatura efectiva del  $O_3$ .

El  $NO_2$  (FW2) utiliza un espectro de referencia sintético (es decir, un espectro de referencia sin líneas de absorción creado con mediciones del propio instrumento, utilizando el método de extrapolación Langley modificado), con la sección transversal proporcionada por Vandaele *et al.* (1998), a 254,5 K de temperatura efectiva del  $NO_2$ .

Las acciones de mantenimiento llevadas a cabo en los instrumentos Pandora (tabla 6.2) tales como desconectar las fibras ópticas cuando se desmonta el instrumento ante unas condiciones meteorológicas adversas, dan lugar a un desplazamiento de la longitud de onda en los espectros medidos, y también a un cambio en la sensibilidad del instrumento, debido a una falta de posición perfecta de reenganche de la fibra, después de cada desconexión.

En el caso del  $O_3$  (FW5), las correcciones que se pueden hacer en el archivo de calibración tras estos eventos consisten en una corrección del polinomio de dispersión para cada periodo. Para el  $NO_2$  (FW2) la corrección se realiza sobre el polinomio de dispersión pero también regenerando el espectro de referencia sintético con datos de campo de los periodos correspondientes, de tal forma que el cambio de sensibilidad que afecta a las nuevas mediciones pueda compensarse con un nuevo espectro de referencia. Se pueden encontrar más detalles sobre los procedimientos de calibración del Pandora en el manual del Blick Software Suite (Cede, 2019).

Los periodos de mantenimiento se pueden identificar buscando cambios escalonados en los parámetros de recuperación de los datos del gas, como el desplazamiento de la longitud de onda (wv\_shift), es decir, lo desplazados que están los espectros medidos con respecto a las líneas de Fraunhofer del sol, o el error cuadrático medio ponderado (wrms) del ajuste de recuperación de los datos del gas, que proporciona una estimación de la certidumbre del algoritmo DOAS en cada medición.

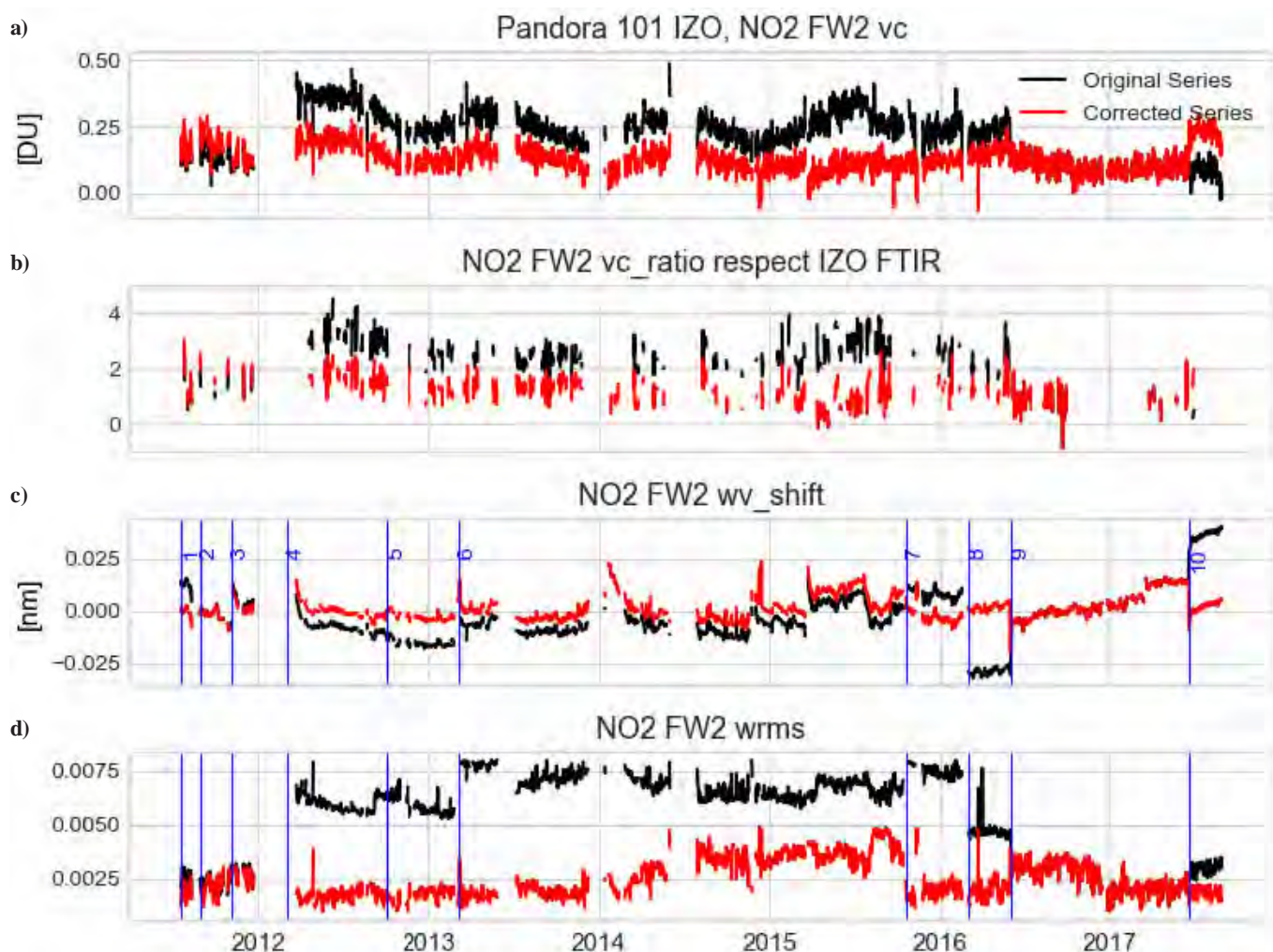


Figura 6.8. Medias diarias obtenidas con el Pandora 101 de: a) columna vertical de  $NO_2$ , b) relación de la columna vertical de  $NO_2$  con respecto al FTIR en el IZO, c) desplazamiento de la longitud de onda del  $NO_2$  y d) wrms de los datos de  $NO_2$ . Los puntos negros corresponden al conjunto de datos original, los puntos rojos corresponden al nuevo conjunto de datos corregidos. Las líneas verticales de los gráficos wv\_shift y wrms indican las fechas en las que se necesitó una corrección.

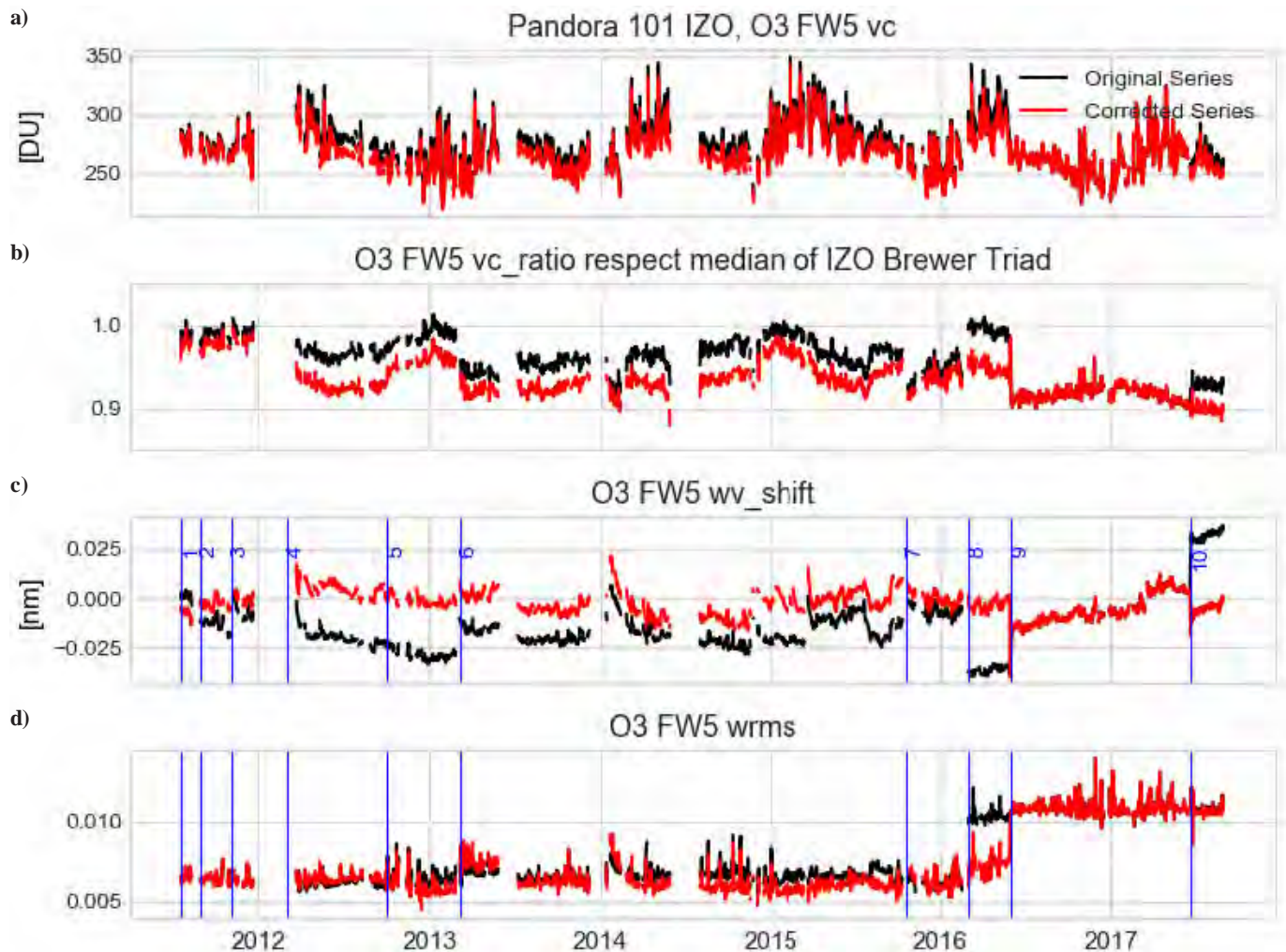


Figura 6.9. Medias diarias obtenidas con el Pandora 101 de: a) columna vertical de ozono, b) relación de la columna vertical de ozono con respecto a la mediana de la tríada de espectrofotómetros Brewer IZO del RBCC-E, c) desplazamiento de la longitud de onda del ozono y d) wrms de los datos de ozono. Todos los datos de ozono del Pandora 101 han sido procesados con la configuración FW5. Los puntos negros corresponden al conjunto de datos original, los puntos rojos corresponden al nuevo conjunto de datos corregidos. Las líneas verticales de los gráficos *wv\_shift* y *wrms* indican las fechas en las que se necesitó una corrección.

Tabla 6.3. Estadísticos de la serie de datos del NO<sub>2</sub> (FW2) del Pandora P101 original frente a la corregida.

Periodo	Media (original)	Desviación típica (original)	Media (corregida)	Desviación típica (corregida)
Columna vertical de NO <sub>2</sub> (UD)	0,216	0,091	0,130	0,050
Relación columna vertical Pandora/FTIR	2,345	0,887	1,203	0,563
Desplazamiento de longitud de onda (nm)	-0,002	0,013	0,001	0,006
wrms ajuste recuperación datos gas (UD)	0,005	0,002	0,003	0,001

Tabla 6.4. Estadísticos de la serie de datos del O<sub>3</sub> (FW5) del Pandora P101 original frente a la corregida.

Periodo	Media (original)	Desviación típica (original)	Media (corregida)	Desviación típica (corregida)
Columna vertical de O <sub>3</sub> (UD)	274,224	19,067	267,852	17,353
Relación columna vertical Pandora/Brewer	0,956	0,027	0,934	0,021
Desplazamiento de longitud de onda (nm)	-0,014	0,014	-0,003	0,006
wrms ajuste recuperación datos gas (UD)	0,008	0,002	0,007	0,002



En el caso del  $\text{NO}_2$ , al aplicar las correcciones necesarias en los archivos de calibración para cada periodo, se mejoraron tanto el desplazamiento de la longitud de onda como el wrms, y se redujo de 2,3 a 1,2 la relación media de la columna vertical con respecto al instrumento FTIR instalado en el IZO, con una desviación típica mejorada que disminuyó de 0,09 a 0,05 (fig. 6.8, tabla 6.3). En la mayoría de los casos, los cambios escalonados en los datos de la columna vertical de  $\text{NO}_2$  entre diferentes periodos se eliminaron después de las correcciones. El único periodo que no se pudo arreglar por completo es el último (20/05/2017), en el que un cambio de la temperatura de funcionamiento del instrumento de 20 a 15 grados junto con una dependencia de la temperatura del mismo que no se caracterizó por completo, hizo imposible su corrección.

En el caso del  $\text{O}_3$ , al aplicar las correcciones necesarias en los archivos de calibración para cada periodo, se mejoraron tanto el desplazamiento de la longitud de onda como el wrms (fig. 6.9, tabla 6.4). La desviación típica de la cantidad de la columna vertical también se redujo, pero la relación de la columna vertical con respecto a la mediana de la tríada de espectrofotómetros Brewer IZO del RBCC-E cambió de una relación de 0,956 a 0,934. Las razones más probables que explican esta compensación son las diferentes secciones transversales y las temperaturas de ozono efectivas utilizadas en el Pandora con respecto a los Brewer. Los cambios escalonados en todos los parámetros de datos del Pandora podrían reducirse, pero menos que en el caso del  $\text{NO}_2$ , ya que ahora el espectro de referencia teórico utilizado para el  $\text{O}_3$  es siempre el mismo, y no sigue los cambios en la sensibilidad del instrumento para cada periodo. A diferencia del  $\text{NO}_2$  en el que se utiliza una referencia sintética que se regenera en cada periodo.

La nueva serie de datos corregidos del Pandora 101 se utilizará como referencia para desarrollar y comparar los resultados de las futuras calibraciones Langley de los instrumentos Pandora en el IZO, lo que permitirá construir espectros de referencia sintéticos no solo para el  $\text{NO}_2$ , sino también para el  $\text{O}_3$ .



Figura 6.10. El Pandora 121 instalado en el IZO.

## 6.4 Colaboraciones con otros programas científicos

Entre las colaboraciones con otros programas científicos que se han llevado a cabo en el CIAI durante el periodo 2017-2018 figuran las siguientes:

- Vigilancia a largo plazo de gases de efecto invernadero en el Observatorio Atmosférico de Izaña (García *et al.*, 2018a).
- Comparación de la radiación incidente de onda larga medida y simulada (2010-2016) en ausencia de nubes en la estación BSRN de alta montaña de Izaña (García *et al.*, 2018b).
- Descripción de la estación de la Red de referencia para la medición de radiaciones en superficie (BSRN) en el Observatorio de Izaña (2009-2017): mediciones y procedimientos de control de la calidad (García *et al.*, 2018c).
- Situación actual de la estación BSRN de Izaña en julio de 2018 (García *et al.*, 2018d).
- Estrategia mejorada de recuperación de datos para la vigilancia del ozono mediante espectrometría FTIR terrestre (Sanromá *et al.*, 2017).

## 6.5 Referencias

- Berjón, A., Redondas, A., Sildoja, M.-M., Nevas, S., Carreño, V., Santana-Díaz, D., Hernández-Cruz, B., León-Luis, S. F., López-Solano, J.: Temperature characterisation of Brewer determined in the laboratory. Talk presented at the ATMOZ Final Workshop, Huelva, Spain, 2 June 2017. (Disponible en: [https://projects.pmodwrc.ch/atmoz/images/huelva\\_workshop/3.pdf](https://projects.pmodwrc.ch/atmoz/images/huelva_workshop/3.pdf)).
- Berjón, A., Redondas, A., Sildoja, M.-M., Nevas, S., Wilson, K., León-Luis, S. F., El Gawhary, O. and Fountoulakis, I.: Sensitivity study of the instrumental temperature corrections on Brewer total ozone column measurements, *Atmos. Meas. Tech.*, <https://doi.org/10.5194/amt-11-3323-2018>, 11, 3323-3337, 2018.
- Carlund, T., Kouremeti, N., Kazadzis, S. and Gröbner, J.: Aerosol optical depth determination in the UV using a four-channel precision filter radiometer, *Atmos. Meas. Tech.*, 10(3), 905-923, doi:10.5194/amt-10-905-2017, 2017.
- Cede, A.: Manual for Blick Software Suite 1.6. Disponible en: [http://pandonia.net/media/documents/BlickSoftwareSuite\\_Manual\\_v11.pdf](http://pandonia.net/media/documents/BlickSoftwareSuite_Manual_v11.pdf), 2019.
- El Gawhary, O., Van der Leden, N., Berjón, A., Redondas, A., Egli, L., Kröger, I., Sperfeld, P. and Gröbner, J.: Operation of a wavelength ruler for the characterization of spectroradiometers for  $\text{O}_3$  measurement at the 2016 Izaña field campaign, *UVNews* 12, 29-31, 2017a. (Disponible en: <http://metrology.tkk.fi/uvnet/reports.htm>).
- El Gawhary, O., Redondas, A., Parra-Rojas, F.: Uncertainties in TOC retrieval for Brewer and Dobson data and the role of cross-correlations among influence parameters. Talk presented at the ATMOZ Final Workshop, Huelva, Spain, 2 June 2017b.
- Fountoulakis I., A. Redondas, K. Lakkala, A. Berjon, A. F. Bais, L. Doppler, U. Feister, A. Heikkila, T. Karppinen, J. M. Karhu, T. Koskela, K. Garanel, K. Fragkos and V. Savastiouk: Temperature dependence of the Brewer global UV measurements. *Atmos. Meas. Tech.*, <https://doi.org/10.5194/amt-10-4491-2017>, 10, 4491-4505, 2017.
- García, O. E., E. Sepúlveda, E. Cuevas, A. J. Gómez-Peláez, M. Schneider, F. Hase, T. Blumenstock, A. Redondas and V. Carreño: Long-term Monitoring of Greenhouse Gases at the Izaña Atmospheric Observatory, 14th International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space (IWGGMS-14), Toronto (Canada), 8-10 May, 2018a.
- García, R. D., Barreto, A., Cuevas, E., Gröbner, J., García, O. E., Gómez-Peláez, A., Romero-Campos, P. M., Redondas, A., Cachorro, V. E. and Ramos, R.: Comparison of observed and modeled cloud-free

- longwave downward radiation (2010-2016) at the high mountain BSRN Izaña station, *Geosci. Model Dev.*, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-2139-2018>, 11, 2139-2152, 2018b.
- García, R. D., Cuevas, E., Ramos, R., Cachorro, V. E., Redondas, A., and Moreno-Ruiz, J. A.: Description of the Baseline Surface Radiation Network (BSRN) station at the Izaña Observatory (2009-2017): measurements and quality control/assurance procedures, *Geosci. Instrum. Method. Data Syst. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/gi-2018-41>, 2018c.
- García, R. D., E. Cuevas, R. Ramos, V. E. Cachorro and A. Redondas: Status of the Izaña BSRN station in July 2018, 15th BSRN Scientific Review and Workshop at CIRES, Boulder CO, USA July, 16-20, 2018d.
- Gröbner, J., Kröger, I., Egli, L., Hülsen, G., Riechelmann, S., Sperfeld, P.: The high-resolution extraterrestrial solar spectrum (QASUMEFSTS) determined from ground-based solar irradiance measurements. *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 3375-83, 2017a.
- Gröbner, J., Redondas, A., Weber, M., Bais, A.: Final Publishable Report Traceability for atmospheric total column ozone (ENV59, ATMOZ). EURAMET; 2017b. (Disponible en: <https://www.euramet.org/research-innovation/search-researchprojects/details/project/traceability-for-atmospheric-totalcolumn-ozone/>).
- Köhler, U., Nevas, S., McConville, G., Evans, R., Smid, M., Stanek, M., Redondas, A. and Schönenborn, F.: Optical characterisation of three reference Dobsons in the ATMOZ Project – verification of G. M. B. Dobson's original specifications, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 1989-1999, <https://doi.org/10.5194/amt-11-1989-2018>, 2018.
- Kurucz, R. L.: New atlases for solar flux, irradiance, central intensity, and limb intensity. *Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplementi*, 8:189, 2005.
- Lakkala, K., Arola, A., Gröbner, J., León-Luis, S. F., Redondas, A., Kazadzis, S., Karppinen, T., Karhu, J. M., Egli, L., Heikkilä, A., Koskela, T., Serrano, A. and Vilaplana, J. M.: Performance of the FMI cosine error correction method for the Brewer spectral UV measurements, *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(9), 5167-5180, doi:<https://doi.org/10.5194/amt-11-5167-2018>, 2018a.
- Lakkala, K., Redondas, A., Meinander, O., Thölix, L., Hamari, B., Almansa, A. F., Carreño, V., García, R. D., Torres, C., Deferrari, G., Ochoa, H., Bernhard, G., Sánchez, R. and de Leeuw, G.: UV measurements at Marambio and Ushuaia during 2000-2010, *Atmos. Chem. Phys.*, <https://doi.org/10.5194/acp-18-16019-2018>, 18, 16019-16031, 2018b.
- León-Luis, S. F., Redondas, A., Carreño, V., López-Solano, J., Berjón, A., Hernández-Cruz, B. and Santana-Díaz, D.: Internal consistency of the Regional Brewer Calibration Centre for Europe triad during the period 2005-2016. *Atmos. Meas. Tech.*, <https://doi.org/10.5194/amt-11-4059-2018>, 11, 4059-4072, 2018a.
- León-Luis, S. F., Carreño, V., Redondas, A., Santana-Díaz, D., López-Solano, J., Rodríguez-Válido, M.: Centro de Calibración Regional Brewer – Europa (RBCC-E): Estabilidad de las medidas de ozono realizadas en el Observatorio Atmosférico de Izaña. *Acta de las XXXV Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española*. León, España, 5-7 de marzo de 2018, <https://doi.org/10.30859/ameJrCn35p213>, 2018b.
- León-Luis, S. F., Carreño, V., Redondas, A., Henriques, D., Moniz, L.: Campaña de intercomparación Brewer 2017: Calibración del Brewer #102. *Acta de las XXXV Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española*. León, España, 5-7 de marzo de 2018, <https://doi.org/10.30859/ameJrCn35p219>, 2018c.
- López-Solano, J., Redondas, A., Carlund, T., Rodríguez-Franco, J. J., Diémoz, H., León-Luis, S. F., Hernández-Cruz, B., Guirado-Fuentes, C., Kouremeti, N., Gröbner, J., Kazadzis, S., Carreño, V., Berjón, A., Santana-Díaz, D., Rodríguez-Valido, M., De Bock, V., Moreta, J. R., Rimmer, J., Smedley, A. R. D., Boulkelia, L., Jepsen, N., Eriksen, P., Bais, A. F., Shiroto, V., Vilaplana, J. M., Wilson, K. M. and Karppinen, T.: Aerosol optical depth in the European Brewer Network, *Atmos. Chem. Phys.*, <https://doi.org/10.5194/acp-18-3885-2018>, 18, 3885-3902, 2018a.
- López-Solano, J., Redondas, A., Carlund, T., Rodríguez-Franco, J. J., Diémoz, H., León-Luis, S. F., Hernández-Cruz, B., Guirado-Fuentes, C., Kouremeti, N., Gröbner, J., Kazadzis, S., Carreño, V., Berjón, A., Santana-Díaz, D., Rodríguez-Valido, M., De Bock, V., Moreta, J. R., Rimmer, J., Smedley, A. R. D., Boulkelia, L., Jepsen, N., Eriksen, P., Bais, A. F., Shiroto, V., Vilaplana, J. M., Wilson, K. M. and Karppinen, T.: UV Aerosol Optical Depth in the European Brewer Network, 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018b.
- Redondas, A.: South Europe Regional Report: Armenia, Italy, Spain & Turkey. The 10th meeting of the Ozone Research Managers of the Parties to the Vienna Convention, Geneva, 28-30 March 2017a.
- Redondas, A. ATMOZ. Izaña Ozone Campaign. Talk presented at the ATMOZ Final Workshop, Huelva, Spain, 2 June 2017b. (Disponible en: [https://projects.pmodwrc.ch/atmoz/images/huelva\\_workshop/9.pdf](https://projects.pmodwrc.ch/atmoz/images/huelva_workshop/9.pdf)).
- Redondas, A., Santana-Díaz, D., Cede, A., Tiefengraber, M.: Pandonia updates and overview. Talk presented at the ATMOZ Final Workshop, Huelva, Spain, 2 June 2017. (Disponible en: [https://projects.pmodwrc.ch/atmoz/images/huelva\\_workshop/11.pdf](https://projects.pmodwrc.ch/atmoz/images/huelva_workshop/11.pdf)).
- Redondas, A., Carreño, V., León-Luis, S. F., Hernández-Cruz, B., López-Solano, J., Rodríguez-Franco, J. J., Vilaplana, J. M., Gröbner, J., Rimmer, J., Bais, A. F., Savastiouk, V., Moreta, J. R., Boulkelia, L., Jepsen, N., Wilson, K. M., Shiroto, V., and Karppinen, T.: EUBREWNET RBCC-E Huelva 2015 Ozone Brewer Intercomparison, *Atmos. Chem. Phys.*, <https://doi.org/10.5194/acp-18-9441-2018>, 18, 9441-9445, 2018.
- Redondas, A., Nevas, S., Berjón, A., Sildoja, M.-M., León-Luis, S. F., Carreño, V. and Santana-Díaz, D.: Wavelength calibration of Brewer spectrophotometer using a tunable pulsed laser and implications to the Brewer ozone retrieval, *Atmos. Meas. Tech.*, <https://doi.org/10.5194/amt-11-3759-2018>, 11, 3759-3768, 2018.
- Rimmer, J. S., Redondas, A., Groebner, J., Karppinen, T., de Bock, V., Bais, A.: The European COST Action EUBrewNet: Towards consistency in quality control, quality assurance and coordinated operations of the Brewer Instrument. The 10th meeting of the Ozone Research Managers of the Parties to the Vienna Convention, Geneva, 28-30 March 2017.
- Rimmer, J. S., Redondas, A. and Karppinen, T.: EuBrewNet – A European Brewer network (COST Action ES1207), an overview., *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 10347-10353, <https://doi.org/10.5194/acp-18-10347-2018>, 2018.
- Siani, A. M., Frasca, F., Scarlatti, F., Religi, A., Diémoz, H., Casale, G. R., Pedone, M. and Savastiouk, V.: Examination on total ozone column retrievals by Brewer spectrophotometry using different processing software, *Atmos. Meas. Tech.*, 11(9), 5105-5123, doi:10.5194/amt-11-5105-2018, 2018.
- Stübi, R., Schill, H., Klausen, J., Vuilleumier, L. and Ruffieux, D.: Reproducibility of total ozone column monitoring by the Arosa Brewer spectrophotometer triad, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(8), 4735-4745, doi:10.1002/2016JD025735, 2017.

Thuillier, G., L. Floyd, T. N. Woods, R. Cebula, E. Hilsenrath, M. Hersé and D. Labs.: Solar irradiance referencespectra for two solar active levels. *Advances in Space Research*, 34(2):256-261, 2004.

Vandaele, A. C., Hermans, C., Simon, P. C., Carleer, M., Colin, R., Fally, S., Mérienne, M. F., Jenouvrier, A., Coquart B. Measurements of the NO<sub>2</sub> absorption cross-section from 42 000 cm<sup>-1</sup> to 10 000 cm<sup>-1</sup> (238-1000 nm) at 220 K and 294 K. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 59, 171-184, doi: 10.1016/S0022-4073(97)00168-4, 1998.

Zerefos, C. S., Eleftheratos, K., Kapsomenakis, J., Solomos, S., Inness, A., Balis, D., Redondas, A., Eskes, H., Allaart, M., Amiridis, V., Dahlback, A., De Bock, V., Diémoz, H., Engelmann, R., Eriksen, P., Fioletov, V., Gröbner, J., Heikkilä, A., Petropavlovskikh, I., Jarosławski, J., Josefsson, W., Karppinen, T., Köhler, U., Meleti, C., Repapis, C., Rimmer, J., Savinykh, V., Shirov, V., Siani, A. M., Smedley, A. R. D., Stanek, M. and Stübi, R.: Detecting volcanic sulfur dioxide plumes in the Northern Hemisphere using the Brewer

spectrophotometers, other networks, and satellite observations, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 551-574, doi:10.5194/acp-17-551-2017, 2017.

## 6.6 Personal

Alberto Redondas Marrero (AEMET; jefe del programa);  
Virgilio Carrreño (AEMET; observador meteorológico y técnico de la VAG);

Dr. Sergio Fabián León Luis (AEMET; investigador científico);

Dr. Alberto Berjón (TRAGSATEC; investigador científico);

Dr. Javier López Solano (TRAGSATEC; investigador científico);

Daniel Santana Díaz (Sieltec/LuftBlick; operador de la Red global Pandonia e investigador científico);

Dr. Francisco Parra Rojas (UIAPR; profesor investigador);

Bentorey Hernández Cruz (ULL; investigador científico), dejó el CIAI en julio de 2018.



## 7 Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

### 7.1 Principales objetivos científicos

Las observaciones de la Tierra son fundamentales para estudiar los procesos que impulsan el cambio climático y, por lo tanto, para respaldar las decisiones en materia de estrategias de mitigación del mismo. Los componentes espacial y terrestre de la teledetección atmosférica son esenciales en esta estrategia de observación. En este contexto, se creó el programa de espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) en el CIAI con los objetivos fundamentales de vigilar a largo plazo la composición de los gases atmosféricos (especies relacionadas con el ozono y gases de efecto invernadero) y validar las observaciones remotas satelitales y los modelos climáticos. En particular, en el seno del programa FTIR se ha llevado a cabo un gran esfuerzo para desarrollar nuevas estrategias de observación de isótopos del vapor de agua troposférico por teledetección terrestre y espacial, ya que estas observaciones juegan un papel fundamental en el estudio del ciclo hidrológico atmosférico y en sus vínculos con los balances energético y radiativo a escala global.

El programa FTIR del CIAI es el resultado de la estrecha y larga colaboración de más de dos décadas entre el CIAI de AEMET y el IMK-ASF-KIT (Instituto de Meteorología e Investigación del Clima - Gases traza atmosféricos y teledetección, Instituto Tecnológico de Karlsruhe, Alemania). El IMK-ASF ha operado sistemas terrestres FTIR de alta resolución durante casi dos décadas y es líder en el desarrollo de algoritmos de inversión FTIR y del control de calidad de las medidas solares mediante la técnica FTIR. Fruto de esta colaboración, el sistema FTIR del IZO ha contribuido a las prestigiosas redes internacionales NDACC y TCCON desde 1999 y 2007, respectivamente.

### 7.2 Programa de medidas

Un sistema FTIR terrestre de alta resolución (HR FTIR) para la vigilancia de la composición atmosférica tiene dos componentes principales (figura 7.1): un seguidor solar preciso que captura la radiación solar directa y la acopla a un interferómetro Michelson de alta resolución (IFS). Las actividades FTIR en el CIAI comenzaron en 1999 con un espectrómetro Bruker IFS 120M, que fue reemplazado por un espectrómetro Bruker IFS 120/5HR en 2005 (véanse las especificaciones técnicas en la tabla 7.1).

Para obtener las concentraciones de gases traza a partir de los espectros de absorción solar medidos por el FTIR, los espectros simulados se calculan mediante el modelo de transferencia radiativa PRFWD línea por línea (Schneider y Hase, 2009). Luego, los espectros modelados se ajustan a los medidos mediante el paquete de software PROFFIT (PROFile FIT, Hase *et al.*, 2004).

PROFFIT permite recuperar los perfiles de la razón de mezcla en volumen (VMR) y extraer perfiles parciales o totales de varias especies simultáneamente. Se han llevado a cabo muchos esfuerzos para asegurar, e incluso mejorar, la alta calidad de los productos de datos FTIR: por ejemplo, medir la función respuesta instrumental (Hase *et al.*, 1999), monitorizar y mejorar la exactitud



Figura 7.1. Instalaciones terrestres del experimento FTIR en el CIAI (contenedor científico, arriba, que alberga el interferómetro de Michelson, abajo).

de los seguidores solares aplicados (Gisi *et al.*, 2011), así como desarrollar sofisticados algoritmos de inversión (Hase *et al.*, 2004). La alta calidad de los datos FTIR a largo plazo ha sido ampliamente documentada mediante diversos estudios de validación teóricos y empíricos (p. ej., Schneider *et al.*, 2008; Schneider *et al.*, 2010; García *et al.*, 2012; Sepúlveda *et al.*, 2012).



Figura 7.2. Instalación del instrumento FTIR EM27/SUN en el CIAI.

En 2018, el CIAI adquirió el espectrofotómetro FTIR portátil de baja resolución (LR FTIR) Bruker EM27/SUN, en el contexto del proyecto de infraestructura español (AEDM15-BE-3319), y fue instalado en el IZO en mayo de 2018 (fig. 7.2). Este instrumento opera dentro de la recién creada COCCON (*Collaborative Carbon Column Observing Network*, Frey *et al.*, 2018) (véase la sección 7.3.2).



**Tabla 7.1. Especificaciones técnicas del Bruker IFS 120/5HR (entre paréntesis cuando es diferente para el 120 M).**

Fabricante, modelo	Bruker, IFS 120/5HR [IFS 120M]
Rango espectral (cm <sup>-1</sup> )	700-4250 (NDACC) y 3500-9000 (TCCON); opcional 20-43000
Resolución espectral apodizada (cm <sup>-1</sup> )	0,0025 [120M: 0,0035]
Poder de resolución ( $\lambda/\Delta\lambda$ )	2·10 <sup>5</sup> a 1000 cm <sup>-1</sup>
Velocidad de barrido típico (cm/s)	2,5 (tiempo de exploración de unos 100 s para una diferencia de camino óptico de 250 cm)
Campo de visión (°)	0,2
Detectores	MCT e InSb (NDACC); InGaAs (TCCON)
Tamaño (cm) / Peso (kp) / Movilidad	320 × 160 × 100 [120M: 200 × 80 × 30] 550 + 70 (bomba) [120M: 100 + 30 (electrónica)] Instalado dentro del contenedor, movilidad limitada
Sistema de control de calidad	Calibraciones rutinarias de celda de N <sub>2</sub> O y HCl para determinar la función respuesta instrumental

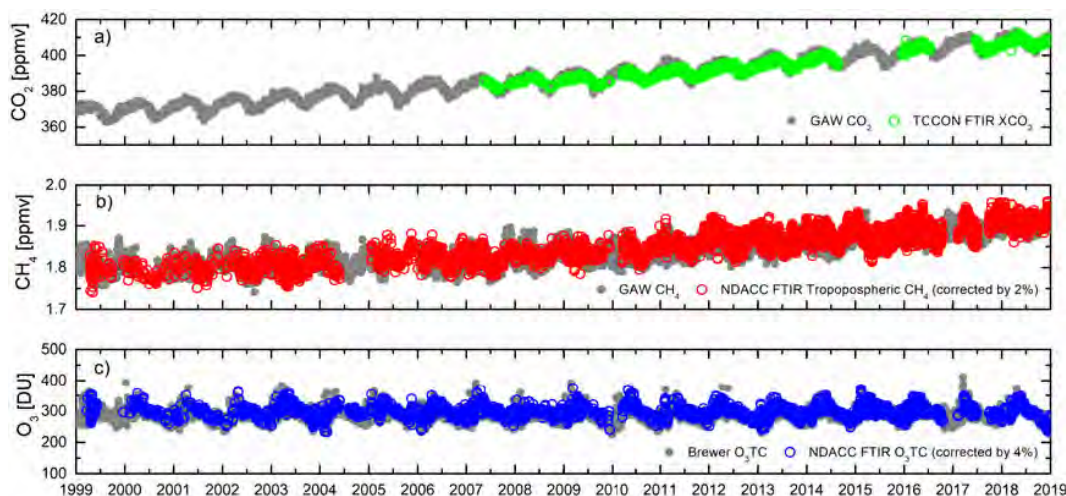
El programa FTIR del CIAI se complementa con dos analizadores Picarro L2120-I δD y δ<sup>18</sup>O instalados en el IZO y el TPO en el contexto del proyecto europeo MUSICA (véase el apartado 7.3.3). Estos instrumentos se basan en la tecnología espectroscópica WS-CRDS (*Wavelength Scanned Cavity Ring-Down Spectroscopy*) y se calibran inyectando patrones líquidos en el módulo de inyección estándar (SDM) de Picarro. La precisión de 0,6 Hz del analizador en δD es < 13,5 ‰ para 500 ppmv de H<sub>2</sub>O y < 2 ‰ para 4000 ppmv. La incertidumbre absoluta de δD es < 13,7 ‰ para 500 ppmv y < 2,3 ‰ para 4500 ppmv. La estimación del error tiene en cuenta la precisión del instrumento, así como los errores debidos a las correcciones aplicadas (efectos SDM + desviaciones instrumentales < 1 ‰, sesgo del estándar líquido < 0,7 ‰, sesgo de calibración < 0,5 ‰) a δD.

### 7.3 Resumen de los resultados más destacados durante el periodo 2017-2018

Las actividades FTIR de 2017 a 2018 se han centrado en la espectrometría FTIR de teledetección terrestre y espacial, así como en la espectrometría *in situ*.

#### 7.3.1 Espectrometría FTIR terrestre de alta resolución

Las observaciones HR FTIR terrestres tienen un gran potencial para vigilar e investigar la composición de la troposfera, la estratosfera y sus procesos de intercambio, algo que resulta fundamental a la hora de monitorizar y estudiar, por ejemplo, las fuentes y sumideros de los gases de efecto invernadero o la evolución de la capa de ozono. Para ello, las actividades del CIAI han abordado la optimización, el desarrollo y la validación de nuevas estrategias para monitorizar la evolución a largo plazo de los gases traza atmosféricos, como los gases de efecto invernadero y el ozono, en el marco de las redes NDACC y TCCON (p. ej., Sanromá *et al.*, 2017a, 2017b; García *et al.*, 2018a). El HR FTIR del CIAI contribuye de forma regular a la red NDACC con observaciones de C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, ClONO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, COF<sub>2</sub>, HCl, HCN, HF, H<sub>2</sub>CO, HNO<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>2</sub>, NO, O<sub>3</sub> y OCS (cantidades totales en columna y perfiles verticales de VMR) desde 1999, mientras que las abundancias totales promediadas en columna de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, HF, CO, H<sub>2</sub>O y HDO se miden dentro de la red TCCON desde 2007 (figura 7.3).



**Figura 7.3. Serie temporal de las abundancias totales promediadas en columna de: a) dióxido de carbono (XCO<sub>2</sub>) en el marco de la TCCON, b) metano troposférico (CH<sub>4</sub>) y c) cantidades de columna total de ozono (O<sub>3</sub>TC) en el marco de la NDACC conforme a las observaciones FTIR del CIAI. A modo de comparación, también se muestran las series de tiempo de estos gases traza de acuerdo con las observaciones realizadas utilizando otras técnicas de medición de alta calidad disponibles en el CIAI (registros *in situ* de la VAG para el CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub>, y cantidades de O<sub>3</sub>TC medidas con espectrofotómetro Brewer para el O<sub>3</sub>).**

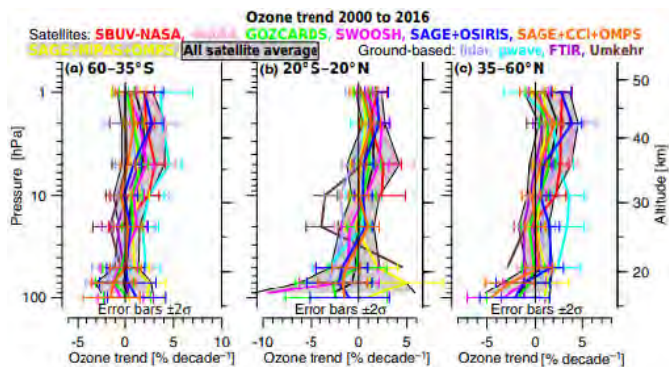
Con estas series temporales refinadas se ha participado en numerosos estudios a escala global. Por ejemplo, la estación HR FTIR del CIAI ha sido una de las 21 localizaciones de la red NDACC (fig. 7.4) utilizadas para diseñar y optimizar una estrategia de inversión armonizada para la obtención de las columnas totales de formaldehído ( $\text{H}_2\text{CO}$ ) (Vigouroux *et al.*, 2018). Este conjunto de datos armonizados de  $\text{H}_2\text{CO}$  sin precedentes abarca niveles de concentración muy diferentes, desde niveles muy limpios en el límite de la detección instrumental (unas pocas  $10^{13}$  moléculas  $\text{cm}^{-2}$ ) hasta niveles muy contaminados ( $7 \times 10^{16}$  moléculas  $\text{cm}^{-2}$ ). Estas series temporales, algunas de las cuales comienzan en la década de 1990, resultan cruciales para validar datos de satélites del pasado y actuales, y se extenderán a lo largo de los años próximos para la nueva generación de misiones de satélites (Vigouroux *et al.*, 2018).



**Figura 7.4.** Localización de las estaciones FTIR que proporcionan columnas totales de HCHO armonizadas (reproducido de Vigouroux *et al.*, 2018).

Además, se han estudiado los cambios a largo plazo de diferentes gases traza en todo el mundo, como el ozono o el metano (Bader *et al.*, 2017; Steinbrecht *et al.*, 2017; Gaudel *et al.*, 2018). Por ejemplo, Steinbrecht *et al.* (2017), al analizar las tendencias del perfil de ozono durante el periodo de 2000 a 2016 a partir de datos combinando medidas satelitales y terrestres, obtenidos según cuatro técnicas en la red NDACC, encontraron aumentos significativos de ozono en la estratosfera superior, entre los 35 y 48 km de altitud (5 y 1 hPa, figura 7.5).

Cerca de 2 hPa (42 km), el ozono ha aumentado en aproximadamente un 1,5 % por década en los trópicos ( $20^\circ\text{S}$  a  $20^\circ\text{N}$ ), y del 2 al 2,5 % por década en las bandas de latitud de  $35$  a  $60^\circ$  en ambos hemisferios. En niveles por debajo de 35 km (5 hPa), las tendencias del ozono de 2000 a 2016 son menores y no son estadísticamente significativas. Los perfiles de tendencias observados son coherentes con las expectativas proyectadas por diversos modelos climáticos químicos y confirman las tendencias positivas del ozono en la alta estratosfera ya avanzadas por la literatura científica. La serie temporal de ozono del HR FTIR del CIAI, centrada en la troposfera, también ha contribuido a la realización del primer Informe de evaluación sobre el ozono troposférico ([www.igacproject.org/TOAR](http://www.igacproject.org/TOAR)). Este proyecto multidisciplinar aborda diferentes aspectos del ozono troposférico, desde cuestiones técnicas como la métrica para la medida del ozono a escala global hasta la distribución actual del ozono y las tendencias relevantes para el cambio climático, la salud humana, la



**Figura 7.5.** Perfiles verticales de las tendencias de ozono de 2000 a 2016 para diferentes conjuntos de datos, combinando de estaciones terrestres y satelitales. Los resultados se refieren a las bandas zonales: a)  $60$  a  $35^\circ\text{S}$ , b)  $20^\circ\text{S}$  a  $20^\circ\text{N}$  y c)  $35$  a  $60^\circ\text{N}$  (reproducido de Steinbrecht *et al.*, 2017). Los datos HR FTIR del IZO se incluyen en la banda de  $35$  a  $60^\circ\text{N}$ .

vegetación, la evaluación de los modelos globales de transporte químico en la atmósfera, etc. (por ejemplo, Gaudel *et al.*, 2018).

Con respecto al metano, Bader *et al.* (2017) encontraron que, combinando medidas FTIR y estimaciones de modelos, las fuentes naturales como los humedales y la quema de biomasa contribuyen a la variabilidad interanual del metano. Sin embargo, las emisiones antropogénicas, como la minería del carbón y el transporte y la exploración de gas y petróleo, que se emiten principalmente en el hemisferio norte y actúan como fuentes secundarias al balance global de metano, han desempeñado un papel importante en el aumento de metano atmosférico observado desde 2005.

### 7.3.2 Espectrometría FTIR terrestre de baja resolución

El espectrofotómetro EM27/SUN comparte la misma filosofía de trabajo que el HR FTIR y, al cubrir el rango espectral del infrarrojo cercano de  $5000$  a  $11\,000\text{ cm}^{-1}$  con una resolución espectral de  $0,5\text{ cm}^{-1}$ , es capaz de medir columnas totales de  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{H}_2\text{O}$  (Frey *et al.*, 2015, 2018 y referencias en los mismos).

En el marco de la red COCCON, se analizó el rendimiento de un conjunto de 30 espectrómetros EM27/SUN, incluido el EM27/SUN del CIAI, encontrando que el conjunto era muy uniforme (Frey *et al.*, 2018). Además, este trabajo también confirma que el EM27/SUN es un instrumento muy estable a largo plazo y proporciona observaciones de  $\text{XCO}_2$  y  $\text{XCH}_4$  muy precisas al compararlo con medidas HR FTIR coincidentes de la red TCCON (Frey *et al.*, 2018). Como ejemplo, la fig. 7.6 muestra la comparación de las observaciones coincidentes del EM27/SUN y el HR FTIR de la red TCCON tomadas durante el verano de 2018 en el IZO. Respecto a los datos de referencia de la red TCCON, las observaciones del EM27/SUN están sesgadas ligeramente a la baja con un factor de escala (EM27/SUN/TCCON) de 0,9980 (es decir, un sesgo de 0,8 ppmv) para el  $\text{XCO}_2$  y de 0,9953 (es decir, un sesgo de 8,6 ppbv) para el  $\text{XCH}_4$ . Sin embargo, la baja dispersión encontrada en la comparación documenta el alto rendimiento de este instrumento de baja resolución ( $1\sigma$  de 0,0010 y 0,0009 para los factores de escala del  $\text{XCO}_2$  y del  $\text{XCH}_4$ , respectivamente).



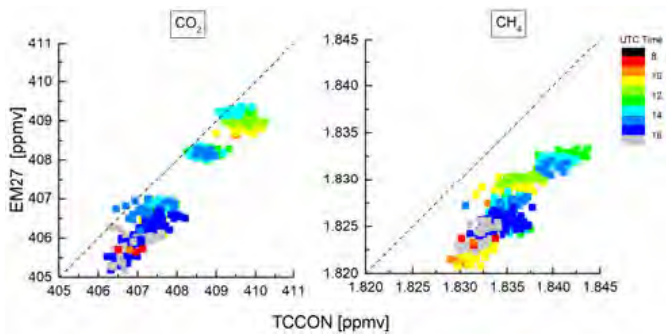


Figura 7.6. Comparación entre las observaciones de  $XCO_2$  y  $XCH_4$  de los instrumentos EM27/SUN y TCCON realizadas en el IZO (pares coincidentes en 1 minuto). La barra de colores indica el tiempo de adquisición de las mediciones.

Por lo tanto, el LR FTIR ha demostrado ser un instrumento muy prometedor para monitorizar las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero, ya que se trata de un espectrómetro móvil, fiable, preciso, de fácil instalación y bajo coste. En este sentido, es un complemento útil para la red TCCON existente en áreas remotas, pero también para cuantificar los sumideros y fuentes locales, así como los flujos de emisión. Con esta idea, el CIAI lidera el proyecto español MEGEI (Medida de las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero en ambientes urbanos, García *et al.*, 2018d) para monitorizar las concentraciones de gases de efecto invernadero (y, en consecuencia, los flujos de emisiones) en entornos urbanos mediante el uso de estos espectrómetros LR FTIR. La primera actividad dentro del proyecto MEGEI fue la campaña de campo MEGEI-MAD llevada a cabo en Madrid (España) entre el 24 de septiembre y el 7 de octubre de 2018 (fig. 7.7), con la colaboración del IMK-ASF-KIT, la Universidad de Heidelberg, la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), la Universidad de Valladolid y el Centro Nacional de Supercomputación de Barcelona (BSC). La campaña MEGEI-MAD tiene como objetivo



Figura 7.7. Mediciones de calibración realizadas durante la campaña MEGEI-MAD en la terraza de los servicios centrales de AEMET en Madrid.

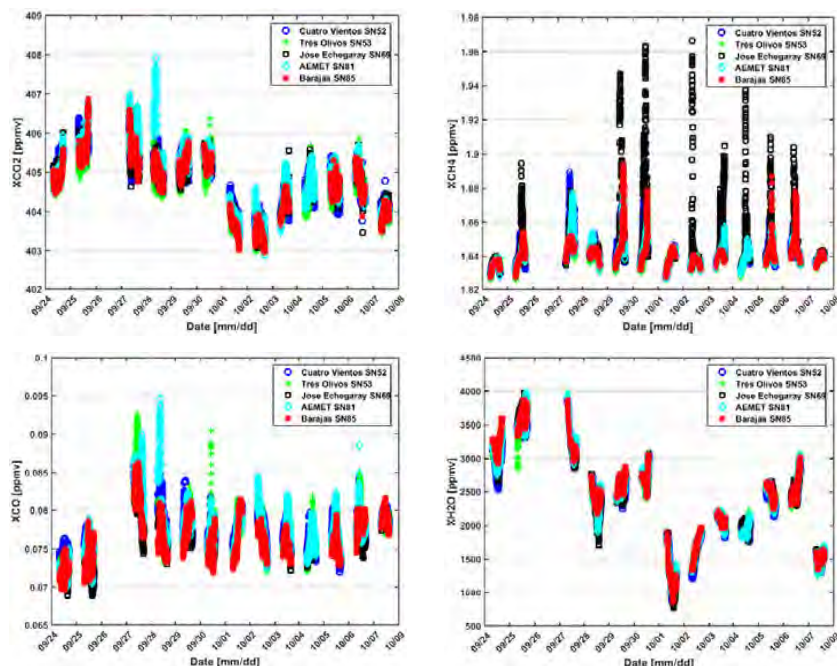
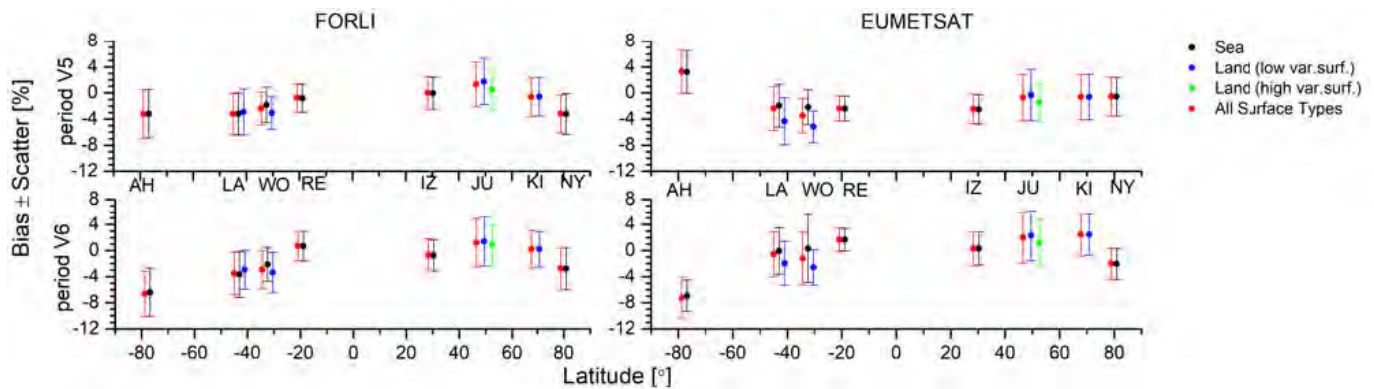


Figura 7.8. Series temporales de las abundancias totales promediadas en columna de dióxido de carbono ( $XCO_2$ ), metano ( $XCH_4$ ), monóxido de carbono ( $XCO$ ) y vapor de agua ( $XH_2O$ ) observadas por cinco espectrómetros EM27/SUN COCCON durante la campaña científica MEGEI-MAD llevada a cabo en Madrid entre el 24 de septiembre y el 7 de octubre de 2018.



**Figura 7.9. Distribución latitudinal de la comparación de los productos del ozono total en columna para diferentes estaciones FTIR NDACC y del sensor IASI (evaluación EUMETSAT y FORLI), distinguiendo la superficie del píxel de observación IASI (mar, tierra con baja y alta variabilidad de la orografía).**

### 7.3.3 Espectrometría FTIR espacial

Los datos FTIR HR de alta calidad del CIAI se han empleado durante muchos años en la validación de datos de gases traza medidos mediante diferentes instrumentos satelitales (ILAS, MIPAS, ACE-FTS, GOME, ...). Durante el periodo 2017-2018, en particular, el CIAI ha participado en la validación de observaciones de CO, NO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> desde plataformas remotas espaciales como TROPOMI, SCIAMACHY, MIPAS y OCO-II (Yela *et al.*, 2017; Wunch *et al.*, 2017; Borsdorff *et al.*, 2018a, 2018b; O'Dell *et al.*, 2018).

Dentro de la espectrometría FTIR espacial, las actividades del CIAI se han centrado principalmente en el sensor IASI (*Infrared Atmospheric Sounding Interferometer*), que vuela a bordo de los satélites MetOp/EUMETSAT a través de los proyectos europeos MUSICA (Teledetección multiplataforma de isótopos para investigar el ciclo hidrológico de la atmósfera) y VALIASI (Validación de los productos EUMETSAT de los gases traza atmosféricos observados desde IASI utilizando espectrometría FTIR terrestre), el proyecto español INMENSE (Evaluación con IASI del metano y óxido nítrico presentes en la troposfera) y el proyecto alemán MOTIV (Vías de transporte de humedad e isótopos en el vapor de agua).

#### VALIASI

A través de VALIASI se está llevando a cabo la validación a largo plazo de los productos de gases traza operativos IASI (O<sub>3</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) para diferentes procesadores de este sensor remoto (García *et al.*, 2017; Sepúlveda *et al.*, 2017a, 2017b). Se ha prestado especial atención a la evaluación de la calidad de los productos de ozono IASI (cantidades totales en columna y perfiles verticales) a escala mundial. En la figura 7.9 se muestra un ejemplo de la comparación IASI-FTIR en diferentes estaciones FTIR de la red NDACC. Se han considerado dos evaluaciones de las observaciones de IASI: el nivel 2 (L2) de IASI EUMETSAT generado por el segmento central en tierra de EPS (versión 5 y versión 6) y el FORLI (Fast Optimal Retrievals on Layers for IASI) del Laboratorio de la atmósfera, medios y observaciones espaciales (LATMOS).

### MUSICA y MOTIV

Además del ozono y los gases de efecto invernadero, el ciclo hidrológico es uno de los elementos fundamentales del clima de la Tierra. Las observaciones remotas de la composición isotópica del vapor de agua pueden brindar nuevas oportunidades para comprender los diferentes procesos del ciclo hidrológico y su vínculo con el clima. Sin embargo, su observación, cuando se utilizan técnicas de teledetección, supone un gran reto. El proyecto MUSICA aborda esta tarea desarrollando consistentemente metodologías de inversión de datos obtenidos por teledetección terrestre y espacial e integrándolos con medidas *in situ* adecuadamente calibradas. En el contexto del citado proyecto, ha quedado ampliamente demostrado que las recuperaciones de los pares {H<sub>2</sub>O, δD}, mediante los sistemas FTIR de la red NDACC y a través del instrumento IASI a bordo del MetOp, son en principio factibles y coherentes con las observaciones *in situ* calibradas, además de una herramienta muy útil para estudiar las vías de humedad de la troposfera baja y media. Son numerosas las publicaciones que constatan los importantes avances logrados durante este proyecto en la observación de los isótopos troposféricos del vapor de agua (p. ej., Schneider *et al.*, 2016; Barthlott *et al.*, 2017; Christner *et al.*, 2017; Schneider *et al.*, 2017; Borger *et al.*, 2018; más detalles en <http://www.imkasf.kit.edu/english/915.php>).

El gran potencial de los diferentes productos MUSICA los convierte en una herramienta muy útil en la investigación del ciclo del vapor de agua. Esta es la idea del proyecto alemán MOTIV, que combina modelos de alta resolución con las observaciones de isótopos del instrumento IASI generadas dentro de MUSICA, con el objetivo final de utilizar los isótopos como herramienta de diagnóstico para estudiar las vías de humedad y evaluar la representación de los procesos húmedos en los modelos meteorológicos y climáticos. La combinación de simulaciones y productos MUSICA permite llevar a cabo estudios estadísticamente robustos, que brindan información sobre el ciclo diurno, las variaciones a pequeña escala y los efectos de las circulaciones de humedad a gran escala en la atmósfera. Dentro de MOTIV, las observaciones espaciales de isótopos se complementan con las mediciones continuas *in situ* registradas en el IZO y el TPO desde 2012.



El proyecto español INMENSE tiene el objetivo de mejorar la comprensión actual de los balances atmosféricos de dos de los gases de efecto invernadero más importantes, el  $\text{CH}_4$  y el  $\text{N}_2\text{O}$ . El conocimiento de las distribuciones atmosféricas de  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ , desde la escala local hasta la global, así como de su variabilidad temporal, resulta fundamental para comprender mejor sus sumideros y fuentes, y para predecir su evolución en la atmósfera. Para lograr este objetivo central, INMENSE generará un nuevo conjunto de datos de las concentraciones de  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  en la troposfera media y superior a escala global mediante el uso del procesador IASI desarrollado durante el proyecto MUSICA. Este conjunto de datos contará con una calidad alta y bien documentada. Al integrar las observaciones IASI y las estimaciones proporcionadas por modelos químicos de transporte, INMENSE estudiará el tipo de señales de sumideros y fuentes de  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  que pueden captarse mediante observaciones IASI de alta calidad. En la figura 7.10 se muestra un ejemplo de la distribución mundial de las concentraciones de  $\text{CH}_4$  en la troposfera libre determinadas por el proyecto INMENSE.

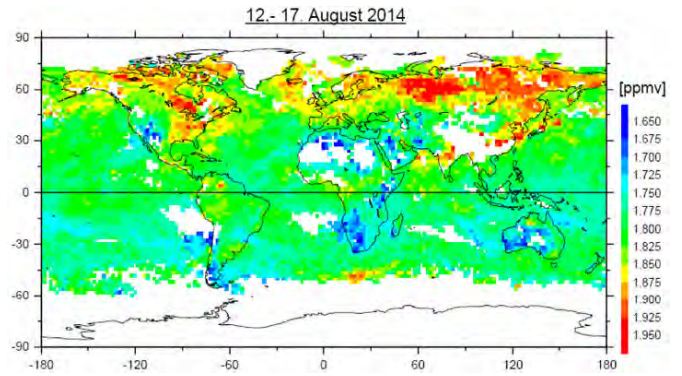


Figura 7.10. Concentraciones de  $\text{CH}_4$  a 4,2 km de altitud determinadas por el procesador MUSICA IASI en el proyecto INMENSE para mediados de agosto de 2014 promediadas para un área de latitud  $\times$  longitud de  $2^\circ \times 2^\circ$ . Reproducido de García *et al.*, (2018).

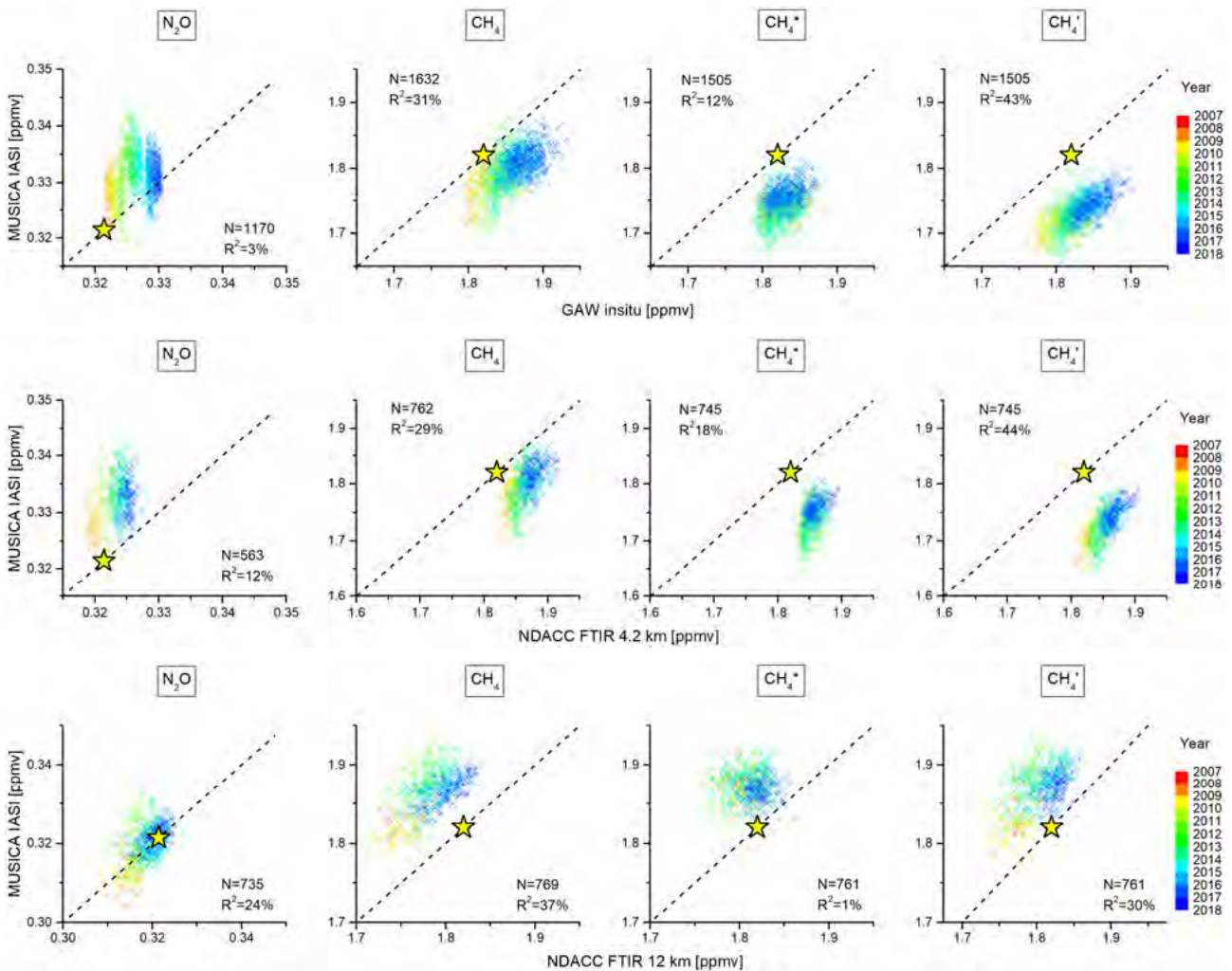


Figura 7.11. Correlación entre las medias diarias de los productos IASI MUSICA a 4,2 km y las medias diarias nocturnas *in situ* de la VAG (primera fila), y entre las medias diarias de los productos IASI MUSICA y los productos FTIR de la red NDACC a 4,2 km (segunda fila) y a 12 km (tercera fila) en el IZO. El código de color indica el año de observación, la estrella amarilla representa los datos *a priori* utilizados para las inversiones y la línea de puntos negra es la diagonal que corresponde a la proporción 1:1. En cada panel se dan los valores del número de días considerados (N) y de  $R^2$  (todas las correlaciones son positivas y significativas al nivel de confianza del 95 %). En García *et al.* (2018) se ofrece una descripción detallada de los productos  $\text{CH}_4^*$  y  $\text{CH}_4'$  poscorregidos. Reproducido de García *et al.* (2018).

Para realizar una interpretación correcta de las nuevas observaciones IASI es fundamental evaluar exhaustivamente estas medidas con el objetivo de asegurar que son capaces de capturar las variaciones de las concentraciones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en diferentes escalas espaciales y temporales. Así se ha hecho en García *et al.* (2018). Este trabajo, en primer lugar, describe teóricamente las características y los errores de los nuevos productos IASI. En segundo lugar, los productos se evalúan exhaustivamente mediante comparaciones con datos de referencia medidos mediante diferentes técnicas y plataformas: 1) perfiles de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O de las cinco misiones del proyecto HIPPO (HIAPER Pole-to-Pole Observation); 2) observaciones continuas *in situ* de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O efectuadas entre 2007 y 2017 en observatorios de alta montaña subtropicales y de latitudes medias (IZO y Jungfraujoch, respectivamente) en el marco del programa VAG de la OMM; 3) mediciones FTIR terrestres realizadas entre 2007 y 2017 en el marco de la red NDACC en la estación subtropical del IZO, en la estación de latitud media de Karlsruhe y en el emplazamiento polar de Kiruna. La figura 7.11 muestra un ejemplo de estas comparaciones multiplataforma en el IZO.

Las estimaciones teóricas y los estudios de comparación sugieren una incertidumbre del 1,5 al 3 % aproximadamente en los productos invertidos de N<sub>2</sub>O y el CH<sub>4</sub>, y errores sistemáticos debidos a parámetros espectroscópicos de alrededor del 2 %. Los datos del CH<sub>4</sub> de IASI MUSICA ofrecen una mejor sensibilidad que los del N<sub>2</sub>O. Mientras que para este último la sensibilidad se limita principalmente a la región de la alta troposfera-baja estratosfera (UTLS), en el caso del CH<sub>4</sub> puede demostrarse que en latitudes bajas el procesador IASI MUSICA puede detectar variaciones que tienen lugar en la troposfera libre independientemente de las variaciones en la región UTLS. Se ha demostrado que los datos de IASI MUSICA capturan cualitativamente los gradientes del CH<sub>4</sub> entre las latitudes bajas y las altas, y entre los hemisferios sur y norte; sin embargo, también se encuentra una incoherencia entre las observaciones del CH<sub>4</sub> de latitudes bajas y altas de hasta un 5 %. Los gradientes latitudinales de N<sub>2</sub>O son muy débiles y no se pueden detectar. Realizando comparaciones durante un periodo de 10 años y analizando la concordancia con los datos de referencia en diferentes escalas de tiempo, se demuestra que los datos de IASI MUSICA pueden detectar variaciones diarias (solo en la región UTLS), ciclos estacionales y evolución a largo plazo (en la UTLS y para el CH<sub>4</sub> también en la troposfera libre) similares a los datos de referencia. Sin embargo, también hay incoherencias en la evolución a largo plazo relacionadas con las inconsistencias de los datos *a priori* de temperatura atmosférica utilizados en las inversiones.

Además, se presenta un método para describir analíticamente la diferencia, en escala logarítmica, calculada *a posteriori* a partir de las inversiones del CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O. Al corregir errores que son comunes en los productos de recuperación del CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O, la diferencia calculada *a posteriori* se puede utilizar para generar un producto de CH<sub>4</sub> corregido *a posteriori* con una precisión teóricamente mejor que los productos originales de CH<sub>4</sub>. Se han discutido y evaluado dos enfoques diferentes para estas correcciones *a posteriori* (productos CH<sub>4</sub>\* y CH<sub>4</sub>'), poniéndose de relieve que la corrección elimina las incoherencias entre las latitudes bajas y altas a la vez que permite detectar señales diarias también en la troposfera libre. Además, reducen el impacto de la dinámica atmosférica a corto plazo, lo cual supone una ventaja, porque presumiblemente las respectivas señales

son difícilmente comparables con las simulaciones de modelos químicos de transporte. La metodología que corrige únicamente las escalas en las que dominan los errores (CH<sub>4</sub>') resulta la más eficiente, porque reduce las incoherencias y los errores sin eliminar las señales atmosféricas reales medibles.

## 7.4 Participación en campañas científicas y en estancias de investigación

### 7.4.1 ATOM

En el contexto del proyecto ATom (*Atmospheric Tomography Mission*), tres de las campañas planificadas se llevaron a cabo entre enero y febrero de 2017 (ATom-2), septiembre y octubre de 2017 (ATom-3) y abril y mayo de 2018 (ATom-4). ATom estudia el impacto de la contaminación del aire antropogénica sobre los gases de efecto invernadero y los gases químicamente reactivos en la atmósfera. Para ello, ATom despliega una gran instrumentación para la medida de gases y aerosoles atmosféricos en el avión científico DC-8 de la NASA con el fin de muestrear sistemáticamente a escala global la atmósfera, haciendo perfiles continuos desde 0,2 a 12 km de altitud. Los vuelos parten del Centro de Investigaciones de Vuelo Armstrong en Palmdale, California, vuelan hacia el norte hasta el Ártico occidental, hacia el sur hasta el Pacífico sur, hacia el este hasta el Atlántico, hacia el norte hasta Groenlandia, y regresan a California cruzando América del Norte central. Durante los trayectos sobre el océano Atlántico, el HR FTIR del CIAI midió en coincidencia con el avión DC-8 de la misión ATom.

### 7.4.2 CINECA

Dentro del proyecto INMENSE y en el marco del programa HPC-Europa3 Transnational Access, un investigador del CIAI disfrutó de una estancia de investigación científica en el centro CINECA de computación de alto rendimiento (HPC) de Bolonia (Italia) en el verano de 2018. El objetivo de esta estancia era explotar los recursos del HPC para generar una «pseudo» climatología de las concentraciones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O a escala global conforme a las observaciones realizadas por los sensores remotos IASI.

## 7.5 Referencias

- Bader, W., Bovy, B., Conway, S., Strong, K., Smale, D., Turner, A. J., Blumenstock, T., Boone, C., Coulon, A., García, O., Griffith, D. W. T., Hase, F., Hausmann, P., Jones, N., Krummel, P., Murata, I., Morino, I., Nakajima, H., O'Doherty, S., Paton-Walsh, C., Robinson, J., Sandrin, R., Schneider, M., Servais, C., Sussmann, R. and Mahieu, E.: The recent increase of atmospheric methane from 10 years of ground-based NDACC FTIR observations since 2005, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 2255-2277, doi:10.5194/acp-17-2255-2017, 2017.
- Barthlott, S., Schneider, M., Hase, F., Blumenstock, T., Kiel, M., Dubravica, D., García, O. E., Sepúlveda, E., Mengistu Tsidu, G., Takele Kenea, S., Grutter, M., Plaza-Medina, E. F., Stremme, W., Strong, K., Weaver, D., Palm, M., Warneke, T., Notholt, J., Mahieu, E., Servais, C., Jones, N., Griffith, D. W. T., Smale, D. and Robinson, J.: Tropospheric water vapour isotopologue data (H216O, H218O, and HD16O) as obtained from NDACC/FTIR solar absorption spectra, *Earth Syst. Sci. Data*, 9, 15-29, doi:10.5194/essd-9-15-2017, 2017.



- Borger, C., Schneider, M., Ertl, B., Hase, F., García, O. E., Sommer, M., Höpfner, M., Tjemkes, S. A. and Calbet, X.: Evaluation of MUSICA IASI tropospheric water vapour profiles using theoretical error assessments and comparisons to GRUAN Vaisala RS92 measurements, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 4981-5006, <https://doi.org/10.5194/amt-11-4981-2018>, 2018.
- Borsdorff, T., aan de Brugh, J., Hu, H., Hasekamp, O., Sussmann, R., Rettinger, M., Hase, F., Gross, J., Schneider, M., García, O., Stremme, W., Grutter, M., Feist, D. G., Arnold, S. G., De Mazière, M., Kumar Sha, M., Pollard, D. F., Kiel, M., Roehl, C., Wennberg, P. O., Toon, G. C. and Landgraf, J.: Mapping carbon monoxide pollution from space down to city scales with daily global coverage, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 5507-5518, <https://doi.org/10.5194/amt-11-5507-2018>, 2018.
- Borsdorff, T., J. aan de Brugh, H. Hu, O. Hasekamp, R. Sussmann, M. Rettinger, F. Hase, J. Gross, M. Schneider, O. E. García, W. Stremme, M. Grutter, D. G. Feist, M. De Mazière, M. Kumar Sha, D. F. Pollard, M. Kiel, G. C. Toon, P. O. Wennberg and J. Landgraf: First carbon monoxide retrieval from TROPOMI's shortwave infrared radiance measurements, European Geosciences Union General Assembly 2018, Vienna (Austria), 8-13 April, 2018.
- Frey, M., Sha, M. K., Hase, F., Kiel, M., Blumenstock, T., Harig, R., Surawicz, G., Deutscher, N. M., Shiomi, K., Franklin, J., Bösch, H., Chen, J., Grutter, M., Ohshima, H., Sun, Y., Butz, A., Mengistu Tsidu, G., Ene, D., Wunch, D., Cao, Z., García, O., Ramonet, M., Vogel, F. and Orphal, J.: Building the COCCON: Long term stability and ensemble performance of the EM27/SUN Fourier transform spectrometer, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/amt-2018-146>, en revisión, 2018.
- García, O. E., Schneider, M., Redondas, A., González, Y., Hase, F., Blumenstock, T. and Sepúlveda, E.: Investigating the longterm evolution of subtropical ozone profiles applying ground-based FTIR spectrometry, *Atmos. Meas. Tech.*, 5, 2917-2931, doi:10.5194/amt-5-2917-2012, 2012.
- García, O. E., E. Sepúlveda, M. Schneider, A. Wiegeler, C. Borger, F. Hase, E. Sanromá, Á.-J. Gómez-Peláez, A. Cansado, M. Allué, and S. Barthlott: INMENSE: IASI for Surveying Methane and Nitrous Oxide in the Troposphere, EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Roma, 2-6 Octubre, 2017.
- García, O. E., E. Sepúlveda, E. Cuevas, A. J. Gómez-Peláez, M. Schneider, F. Hase, T. Blumenstock, A. Redondas and V. Carreño: Long-term Monitoring of Greenhouse Gases at the Izaña Atmospheric Observatory, 14th International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space (IWGGMS-14), Toronto (Canada), 8-10 May, 2018a.
- García, O. E., M. Schneider, B. Ertl, F. Hase, C. Borger, E. Sepúlveda, T. Blumenstock, U. Raffalski and A. J. Gómez-Peláez: IASI for Surveying Methane and Nitrous Oxide in the Troposphere: MUSICA products and its validation, 14th International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space (IWGGMS-14), Toronto (Canada), 8-10 May, 2018b.
- García, O. E., Schneider, M., Ertl, B., Sepúlveda, E., Borger, C., Diekmann, C., Wiegeler, A., Hase, F., Barthlott, S., Blumenstock, T., Raffalski, U., Gómez-Peláez, A., Steinbacher, M., Ries, L. and de Frutos, A. M.: The MUSICA IASI CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O products and their comparison to HIPPO, GAW and NDACC FTIR references, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 4171-4215, <https://doi.org/10.5194/amt-11-4171-2018>, 2018c.
- García, O. E., E. Sepúlveda, J.-A. Morgui, C. Estruch, R. Curcoll, M. Frey, C. Schneider, R. Ramos, C. Torres, S. León, F. Hase, A. Butz, C. Toledano, E. Cuevas, T. Blumenstock, C. Pérez, M. Guevara, J. J. Bustos and V. Carreño: MEGE-MAD: Monitoring of Greenhouse Gases Concentrations in Madrid, Integrated Global Greenhouse Gas Information System (IG3IS) Symposium, 13-15 November, WMO, Geneva, Switzerland, 2018d.
- Gaudel, A., O. R. Cooper, G. Ancellet, B. Barret, A. Boynard, J. P. Burrows, C. Clerbaux, P.-F. Coheur, J. Cuesta, E. Cuevas, S. Doniki, G. Dufour, F. Ebojje, G. Foret, O. García, M. J. Granados-Muñoz, J. W. Hannigan, F. Hase, B. Hassler, G. Huang, D. Hurtmans, D. Jaffe, N. Jones, P. Kalabokas, B. Kerridge, S. Kulawik, B. Latter, T. Leblanc, E. Le Flochmoën, W. Lin, J. Liu, X. Liu, E. Mahieu, A. McClure-Begley, J. L. Neu, M. Osman, M. Palm, H. Petetin, I. Petropavlovskikh, R. Querel, N. Rapp, A. Rozanov, M. G. Schultz, J. Schwab, R. Siddans, D. Smale, M. Steinbacher, H. Tanimoto, D. W. Tarasick, V. Thouret, A. M. Thompson, T. Trickl, E. Weatherhead, C. Wespes, H. M. Worden, C. Vigouroux, X. Xu, G. Zeng, J. Ziemke: The Tropospheric Ozone Assessment Report: Present-day distribution and trends of tropospheric ozone relevant to climate and global atmospheric chemistry model evaluation, *Elem. Sci. Anth.*, 6: 39. DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.291>, 2018.
- Gisi, M., F. Hase, S. Dohe and T. Blumenstock: Camtracker: a new camera controlled high precision solar tracker system for FTIR-spectrometers, *Atmos. Meas. Tech.*, 4, 47-54, 2011.
- Hase, F., T. Blumenstock, C. Paton-Walsh: Analysis of the instrumental line shape of high-resolution Fourier transform IR spectrometers with gas cell measurements and new retrieval software, *Appl. Opt.* 38, 3417-3422, 1999.
- Hase, F., J. W. Hannigan, M. T. Coffey, A. Goldman, M. Höpfner, N. B. Jones, C. P. Rinsland, S. W. Wood: Intercomparison of retrieval codes used for the analysis of high-resolution, groundbased FTIR measurements, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 87, 25-52, 2004.
- Hase, F., M. Frey, D. Dubravica, J. Groß, T. Blumenstock, Q. Tu, J. Orphal, A. Dehn, P. Castracane, A. Butz, R. Kleinschek, A. Luther, J. Chen, R. Harig, G. Surawicz, W. R. Simpson, N. Jacobs, M. Grutter, W. Stremme, N. Jones, D. W. Griffith, G. Mengistu Tsidu, K. Shiomi, I. Morino, S. Wofsy, O. García, D. Pollard, M. Dubey, D. Wunch, P. O. Wennberg, M. K. Sha, H. Gadhavi, D. Ene, M. Ramonet, Y. Sun and H. Boesch: COCCON — a framework for operating the EM27/SUN spectrometer, 2nd Sentinel-5P Validation Team Meeting and 1st Results Workshop, Noordwijk (Netherlands), 5-6 February, 2018.
- Kulawik, S. S., C. O'Dell, G. Osterman, P. Wennberg, D. Wunch, C. Roehl, N. Deutscher, M. Kiel, D. Griffith, V. Velasco, J. Notholt, T. Warneke, C. Petri, M. De Mazière, M. Kumar Sha, R. Sussmann, M. Rettinger, D. Pollard, I. Morino, O. Uchino, F. Hase, D. Feist, K. Strong, R. Kivi, L. Iraci, K. Shuji, M. Dubey, E. Sepúlveda, O. E. García, Y. Te, P. Jeseck, M. Kiel, P. Heikkinen, M. Schneider, S. Wofsy, K. McKain, C. Sweeney, D. Baker and J. Liu: Characterization of OCO-2 biases and errors for flux estimates, 14th International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space (IWGGMS-14), Toronto (Canada), 8-10 May, 2018.
- O'Dell, C. W., Eldering, A., Wennberg, P. O., Crisp, D., Gunson, M. R., Fisher, B., Frankenberg, C., Kiel, M., Lindqvist, H., Mandrake, L., Merrelli, A., Natraj, V., Nelson, R. R., Osterman, G. B., Payne, V. H., Taylor, T. E., Wunch, D., Drouin, B. J., Oyafuso, F., Chang, A., McDuffie, J., Smyth, M., Baker, D. F., Basu, S., Chevallier, F., Crowell, S. M. R., Feng, L., Palmer, P. I., Dubey, M., García, O. E., Griffith, D. W. T., Hase, F., Iraci, L. T., Kivi, R., Morino, I., Notholt, J., Ohshima, H., Petri, C., Roehl, C. M., Sha, M. K., Strong, K., Sussmann, R., Te, Y., Uchino, O. and Velasco, V. A.: Improved retrievals of carbon dioxide from Orbiting Carbon Observatory-2 with the version 8 ACOS algorithm, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 6539-6576, <https://doi.org/10.5194/amt-11-6539-2018>, 2018.



- Sanromá, E., O. E. García, F. Hasme, M. Schneider, T. Blumenstock, E. Sepúlveda, A. Redondas, M. Navarro-Comas and V. Carreño: Improved Retrieval Strategy for Ozone Monitoring by Ground-Based FTIR Spectrometry, NDACC/IRWG and TCCON Meeting, París (France), 29 May-02 June, 2017a.
- Sanromá, E., O. E. García, M. Schneider, F. Hase, T. Blumenstock, and E. Sepúlveda: Ozone Isotopologue Monitoring from Ground-Based FTIR Spectrometry, NDACC/IRWG and TCCON Meeting, París (France), 29 May-02 June, 2017b.
- Schneider, M., A. Redondas, F. Hase, C. Guirado, T. Blumenstock, and E. Cuevas: Comparison of ground-based Brewer and FTIR total O<sub>3</sub> monitoring techniques, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 5535-5550, 2008.
- Schneider, M., P. M. Romero, F. Hase, T. Blumenstock, E. Cuevas, and R. Ramos: Continuous quality assessment of atmospheric water vapour measurement techniques: FTIR, Cimel, MFRSR, GPS, and Vaisala RS92, *Atmos. Meas. Tech.*, 3, 323-338, 2010.
- Schneider, M., Wiegele, A., Barthlott, S., González, Y., Christner, E., Dyroff, C., García, O. E., Hase, F., Blumenstock, T., Sepúlveda, E., Mengistu Tsidu, G., Takele Kenea, S., Rodríguez, S. and Andrey, J.: Accomplishments of the MUSICA project to provide accurate, long-term, global and high-resolution observations of tropospheric {H<sub>2</sub>O, δD} pairs — a review, *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 2845-2875, doi:10.5194/amt-9-2845-2016, 2016.
- Schneider, M., Borger, C., Wiegele, A., Hase, F., García, O. E., Sepúlveda, E., and Werner, M.: MUSICA MetOp/IASI {H<sub>2</sub>O, δD} pair retrieval simulations for validating tropospheric moisture pathways in atmospheric models, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 507-525, doi:10.5194/amt-10-507-2017, 2017.
- Sepúlveda, E., Schneider, M., Hase, F., García, O. E., Gómez-Peláez, A., Dohe, S., Blumenstock, T. and Guerra, J. C.: Longterm validation of total and tropospheric column-averaged CH<sub>4</sub> mole fractions obtained by mid-infrared ground-based FTIR spectrometry, *Atmos. Meas. Tech.*, 5, 1425-1441, doi:10.5194/amt-5-1425-2012, 2012.
- Sepúlveda, E., O. E. García, M. Schneider, T. August, C. Clerbaux, F. Hase, T. Blumenstock, T. Hultberg, E. Sanromá, V. Carreño, E. Mahieu, M. De Mazière, C. Vigouroux, D. Griffith, N. Jones, D. Smale, J. Notholt, M. Palm and A. M. de Frutos: Ozone total and partial column amounts comparison between satellitebased MetOp-IASI and ground-based NDACC FTIR, NDACC/IRWG and TCCON Meeting, París (France), 29 May-02 June, 2017a.
- Sepúlveda, E., O. E. García, M. Schneider, T. August, T. Hultberg, C. Clerbaux, J. Hadji-Lazaro, P.-F. Coheur, D. Hurtmans, F. Hase, T. Blumenstock, E. Sanromá, V. Carreño, E. Mahieu, M. De Mazière, C. Vigouroux, D. Griffith, N. Jones, D. Smale, J. Notholt, M. Palm, A. M. de Frutos: Ozone Monitoring Comparison as observed by the satellite-based METOP-IASI and ground-based NDACC FTS, EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Roma, 2-6 Octubre, 2017b.
- Steinbrecht, W., Froidevaux, L., Fuller, R., Wang, R., Anderson, J., Roth, C., Bourassa, A., Degenstein, D., Damadeo, R., Zawodny, J., Frith, S., McPeters, R., Bhartia, P., Wild, J., Long, C., Davis, S., Rosenlof, K., Sofieva, V., Walker, K., Rapp, N., Rozanov, A., Weber, M., Laeng, A., von Clarmann, T., Stiller, G., Kramarova, N., Godin-Beekmann, S., Leblanc, T., Querel, R., Swart, D., Boyd, I., Hocke, K., Kämpfer, N., Maillard Barras, E., Moreira, L., Nedoluha, G., Vigouroux, C., Blumenstock, T., Schneider, M., García, O., Jones, N., Mahieu, E., Smale, D., Kotkamp, M., Robinson, J., Petropavlovskikh, I., Harris, N., Hassler, B., Hubert, D., and Tummon, F.: An update on ozone profile trends for the period 2000 to 2016, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 10675-10690, <https://doi.org/10.5194/acp-17-10675-2017>, 2017.
- Vigouroux, C., Bauer Aquino, C. A., Bauwens, M., Becker, C., Blumenstock, T., De Mazière, M., García, O., Grutter, M., Guarín, C., Hannigan, J., Hase, F., Jones, N., Kivi, R., Koshelev, D., Langerock, B., Lutsch, E., Makarova, M., Metzger, J.-M., Müller, J.-F., Notholt, J., Ortega, I., Palm, M., Paton-Walsh, C., Poberovskii, A., Rettinger, M., Robinson, J., Smale, D., Stavrou, T., Stremme, W., Strong, K., Sussmann, R., Té, Y. and Toon, G.: DACC harmonized formaldehyde time-series from 21 FTIR stations covering a wide range of column abundances, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 5049-5073, <https://doi.org/10.5194/amt-11-5049-2018>, 2018.
- Wunch, D., Wennberg, P. O., Osterman, G., Fisher, B., Naylor, B., Roehl, C. M., O'Dell, C., Mandrake, L., Viatte, C., Griffith, D. W., Deutscher, N. M., Velasco, V. A., Notholt, J., Warneke, T., Petri, C., De Mazière, M., Sha, M. K., Sussmann, R., Rettinger, M., Pollard, D., Robinson, J., Morino, I., Uchino, O., Hase, F., Blumenstock, T., Kiel, M., Feist, D. G., Arnold, S. G., Strong, K., Mendonca, J., Kivi, R., Heikkinen, P., Iraci, L., Podolske, J., Hillyard, P. W., Kawakami, S., Dubey, M. K., Parker, H. A., Sepúlveda, E., García, O., Te, Y., Jeseck, P., Gunson, M. R., Crisp, D. and Eldering, A.: Comparisons of the Orbiting Carbon Observatory-2 (OCO-2) XCO<sub>2</sub> measurements with TCCON, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 2209-2238, doi:10.5194/amt-10-2209-2017, 2017.
- Yela, M., Gil-Ojeda, M., Navarro-Comas, M., González-Bartolomé, D., Puentedura, O., Funke, B., Iglesias, J., Rodríguez, S., García, O., Ochoa, H. and Deferrari, G.: Hemispheric asymmetry in stratospheric NO<sub>2</sub> trends, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 13373-13389, <https://doi.org/10.5194/acp-17-13373-2017>, 2017.

## 7.6 Personal y colaboradores

El grupo de investigación FTIR (enumerado a continuación) está compuesto por investigadores y técnicos especialistas del CIAI-AEMET, el IMK-ASF-KIT y el GOA-UVA:

- Dra. Omaira García (AEMET; jefa del programa);
- Dr. Eliezer Sepúlveda (AEMET; investigador científico);
- Dra. Esther Sanromá (AEMET; investigadora científica), dejó el CIAI en noviembre de 2017;
- Ramón Ramos (AEMET; jefe de infraestructuras);
- Dr. Matthias Schneider (IMK-ASF-KIT; jefe del grupo MUSICA);
- Dr. Thomas Blumenstock (IMK-ASF-KIT; jefe del grupo de teledetección terrestre con interferómetros de transformada de Fourier (BOD));
- Dr. Frank Hase (IMK-ASF-KIT; investigador científico);
- Dr. Matthias Frey (IMK-ASF-KIT; investigador científico).

## 8 Aerosoles *in situ*

### 8.1 Principales objetivos científicos

El aerosol atmosférico está constituido por una mezcla de partículas aerotransportadas naturales (por ejemplo, sal marina, polvo del desierto o material biogénico) y antropogénicas (por ejemplo, hollín, sulfato industrial, nitrato, metales o materia carbonosa ligada a la combustión) cuyo tamaño varía desde unos pocos nanómetros (nm) a decenas de micrones ( $\mu\text{m}$ ). Los aerosoles perjudican la calidad del aire con impactos en la salud humana debido a enfermedades cardiovasculares, cerebrovasculares y respiratorias como el asma y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica; también influyen en el clima al dispersar y absorber la radiación e intervenir en los procesos de formación de nubes y lluvia.

Las actividades del programa de observación de aerosoles *in situ* se desarrollan en el seno de las prioridades científicas del programa de Vigilancia de la Atmósfera Global. Una de las principales tareas de nuestro grupo es mantener las observaciones a largo plazo de aerosoles en el IZO. Estas mediciones ayudan a comprender mejor los posibles cambios y tendencias de los aerosoles a un largo plazo de varios decenios. La investigación del CIAI a este respecto se centra en: 1) variabilidad y tendencias de los aerosoles a un largo plazo de varias décadas; 2) aerosoles y clima; y 3) aerosoles y calidad del aire.

### 8.2 Programa de mediciones

El programa de observación de aerosoles *in situ* a largo plazo del Observatorio Atmosférico de Izaña incluye mediciones mediante técnicas *in situ* de masa de aerosoles y concentraciones numéricas, composición química, distribución de tamaño y propiedades ópticas. Los instrumentos se colocan en el Laboratorio de investigación de aerosoles (ARL), rebautizado en 2016 como Laboratorio de investigación de aerosoles Joseph M. Prospero, como tributo al pionero de la investigación del polvo (fig. 8.1). El laboratorio está equipado con una entrada de aire completa para conducir la muestra de aerosol a los analizadores en línea (CPC, SMPS, APS, MAAP, aethalómetro, nefelómetro), dos entradas adicionales de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  para los muestreadores de filtro de aerosoles y también dos entradas adicionales para los analizadores TEOM ( $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ ) y BETA ( $\text{PM}_{10}$ ) respectivamente. El interior de este laboratorio se mantiene a  $22^\circ\text{C}$ . Debido a la baja humedad relativa (HR) en el aire ambiente exterior (los percentiles de HR 25, 50 y 75 son 15 %, 31 % y 55 %, respectivamente) no se necesitan secadores. Las mediciones de concentración numérica, distribuciones de tamaño y propiedades ópticas de los aerosoles se realizan con una alta resolución temporal (tabla 3.2).

Para estos instrumentos automáticos, las actividades de AC y CC incluyen:

- <controles diarios> de los datos y del estado de los instrumentos;
- <controles semanales> de los flujos de aire y de las pruebas de fugas para algunos instrumentos (por ejemplo, SMPS);
- <controles trimestrales> que incluyen mediciones del cero instrumental (aire filtrado en 24 h) para todos los instrumentos (CPC, SMPS, APS, MAAP, aethalómetro,



**Figura 8.1. Laboratorio de investigación de aerosoles Joseph M. Prospero del Observatorio Atmosférico de Izaña (en la imagen superior, el edificio; en las imágenes inferiores, parte de la instrumentación interior).**

nefelómetro) y controles de calibración (por ejemplo, nefelómetro);

- <intercomparaciones anuales> para algunos instrumentos;
- participación en intercomparaciones, p. ej. las realizadas anualmente entre 2010 y 2012 para CPC y SPMS en El Arenosillo, Huelva (Gómez-Moreno *et al.*, 2011, 2013) y las del Centro Mundial de Calibración para Física de Aerosoles (WCCAP) en Leipzig (Alemania) para CPC (septiembre de 2012) y fotómetros de absorción (noviembre de 2005; Müller *et al.*, 2011).

El procedimiento para estas actividades sigue la recomendación del programa de aerosoles de la VAG.

En octubre de 2017, los instrumentos del ARL (SMPS, CPC, MAAP, nefelómetros y aethalómetro) fueron recalibrados en el WCCAP en Alemania (fig. 8.2). Todos ellos obtuvieron el certificado de calibración. Estos procedimientos permiten que los registros de aerosoles a largo plazo obtenidos en el IZO sean trazables a los estándares de referencia internacionales.





Figura 8.2. Los CPC de Izaña durante las actividades de calibración realizadas en el WCCAP en octubre de 2017.

El programa de composición química de aerosoles se basa en los siguientes pilares:

- la recogida de muestras de aerosoles en filtros: las muestras se recogen por la noche para evitar los vientos diurnos ascendentes que pueden traer material de la capa límite;
- la determinación de las concentraciones de masa de aerosoles por el método gravimétrico: los filtros se pesan, antes y después del muestreo, a 20 °C de temperatura con unas condiciones de humedad relativa de entre el 30 y el 35 % en el Laboratorio de filtros de aerosoles (fig. 8.1) del Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (sección 3.2.1); el procedimiento para pesar los filtros es similar al descrito en la norma EN-14907, excepto la salvedad de utilizar una humedad relativa menor (del 30 al 35 %) debido a que la humedad relativa del aire ambiente en el IZO es mucho menor que el 50 % que establece la EN-14907.
- la determinación de la composición química, que incluye actualmente la composición elemental (detectada por la espectroscopía ICP-AES, es decir, Al, Ca, Fe, Mg, K, Na, ...), sales ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , Cl<sup>-</sup>), carbono orgánico, carbono elemental y oligoelementos (detectados por la espectroscopía ICP-MS, es decir, P, V, Ni, Cd, As, Sb, Sn, ...).

El procedimiento de AC/CC para el programa de composición química de aerosoles incluye:

- comprobaciones y calibraciones del flujo de aire;
- la colección de filtros de campo seleccionados para realizar la gravimetría y el análisis químico;
- ejercicios de intercomparación.

Para llevar a cabo las actividades de AC/CC, el grupo cuenta con cuatro medidores de flujo de burbujas Gilibrators™ para medir flujos de aire de unos pocos litros a decenas de litros por minuto (por ejemplo, CPC, SMPS, APS, MAAP, aethalómetro, nefelómetro) y tres caudalímetros de caída de presión para medir flujos de aire de decenas de metros cúbicos por hora (por ejemplo, muestreadores, TEOM).

El Centro Mundial de Calibración para Física de Aerosoles auditó el programa de aerosoles del IZO en noviembre de 2006 (Tuch y Nowak, 2006). Se dispone de un informe actualizado de marzo de 2014 (Rodríguez *et al.*, 2014a).

### 8.3 Resumen de los resultados más destacados durante el periodo 2017-2018

Durante el bienio 2017-2018, el grupo de observación de aerosoles *in situ* centró principalmente sus actividades de investigación en el polvo y el transporte transatlántico de aerosoles con implicaciones en el clima.

#### 8.3.1 Investigación del polvo

Con el fin de explicar la variabilidad intraestacional observada en la exportación de polvo en verano al Atlántico y al Mediterráneo se propuso un modelo conceptual basado en las observaciones de satélite y en la modelización numérica (Cuevas *et al.*, 2017). Este modelo utiliza el índice NAFDI (intensidad del dipolo norteafricano), desarrollado originalmente por el equipo del CIA (Rodríguez *et al.*, 2015). El nuevo estudio conecta el polvo y la variabilidad detectada por el NAFDI con las ondas de Rossby y la baja térmica sahariana (fig. 8.3).

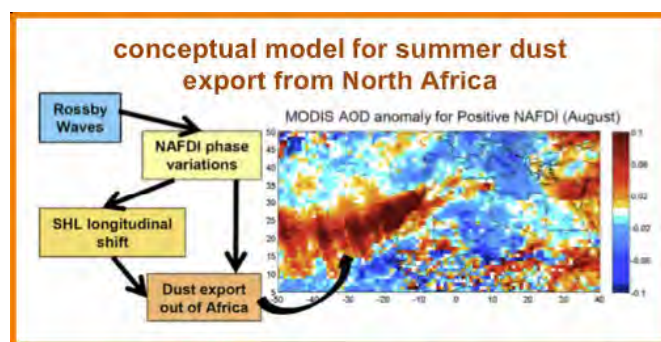


Figura 8.3. Modelo conceptual de exportación de polvo en verano desde el norte de África. Reproducido de Cuevas *et al.* (2017).

#### 8.3.2 Aerosoles orgánicos

El equipo del CIAI lideró un estudio sobre la identificación de la composición química y las fuentes de aerosoles orgánicos transportados en los vientos occidentales y en la capa de aire sahariana (García *et al.*, 2017a). Se identificaron como fuentes principales la quema de biomasa, la combustión y los compuestos orgánicos vinculados a la corteza biológica del suelo (figura 8.4).



### 8.3.3 Aerosoles norteamericanos

La composición química, las regiones fuente y las vías de transporte transatlántico de aerosoles desde América del Norte hacia Izaña fueron estudiadas y presentadas en un formato de <climatología> (García *et al.*, 2017b). La exportación de aerosoles de América del Norte se ve reforzada por las bajas que se propagan hacia el este y por los frentes asociados (fig. 8.5). La entrada cálida y húmeda del Golfo (por Texas) juega un papel clave a la hora de favorecer el transporte ascendente de contaminantes a la troposfera media (sobre el este de los Estados Unidos) donde experimenta un transporte transatlántico a Europa y el norte de África (fig. 8.5).

Las concentraciones masivas de aerosoles (PM<sub>10</sub>) transportadas por los vientos del oeste son bastante bajas, normalmente de 1,2 a 4,2  $\mu\text{g m}^{-3}$  y están compuestas principalmente de polvo de América del Norte (53 %) vinculado a emisiones en Nuevo México, Texas y las Grandes Llanuras, sulfato de sal no marina (14 %) vinculado a las centrales eléctricas de carbón en el noroeste de los Estados Unidos y un cóctel de aerosoles orgánicos que incluyen compuestos biogénicos (18 %). Debido al cambio estacional de las condiciones meteorológicas a gran escala y al flujo de salida norteamericano, la carga máxima de polvo llega a Izaña de febrero a mayo; la de materia orgánica de febrero a mayo; la de sulfato de sal no marina de marzo a mayo; y la de carbono elemental en agosto y septiembre (fig. 8.6).

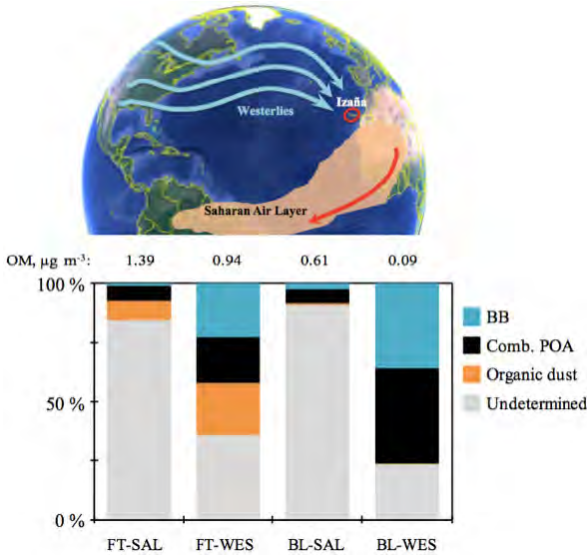


Figura 8.4. La imagen superior muestra la ilustración de los vientos del oeste y el flujo atmosférico en la capa de aire sahariana. En la imagen inferior se representan las fuentes que contribuyen a los aerosoles de materia orgánica (MO) en la troposfera libre (FT) y en los vientos ascendentes de la capa límite (BL) bajo condiciones de vientos del oeste (WES) y de flujo atmosférico en la capa de aire sahariana (SAL). Fuentes: Quema de biomasa (BB), aerosoles orgánicos de combustión primaria (Comb. POA), material orgánico ligado al polvo del suelo (polvo orgánico). Reproducido de García *et al.* (2017a).

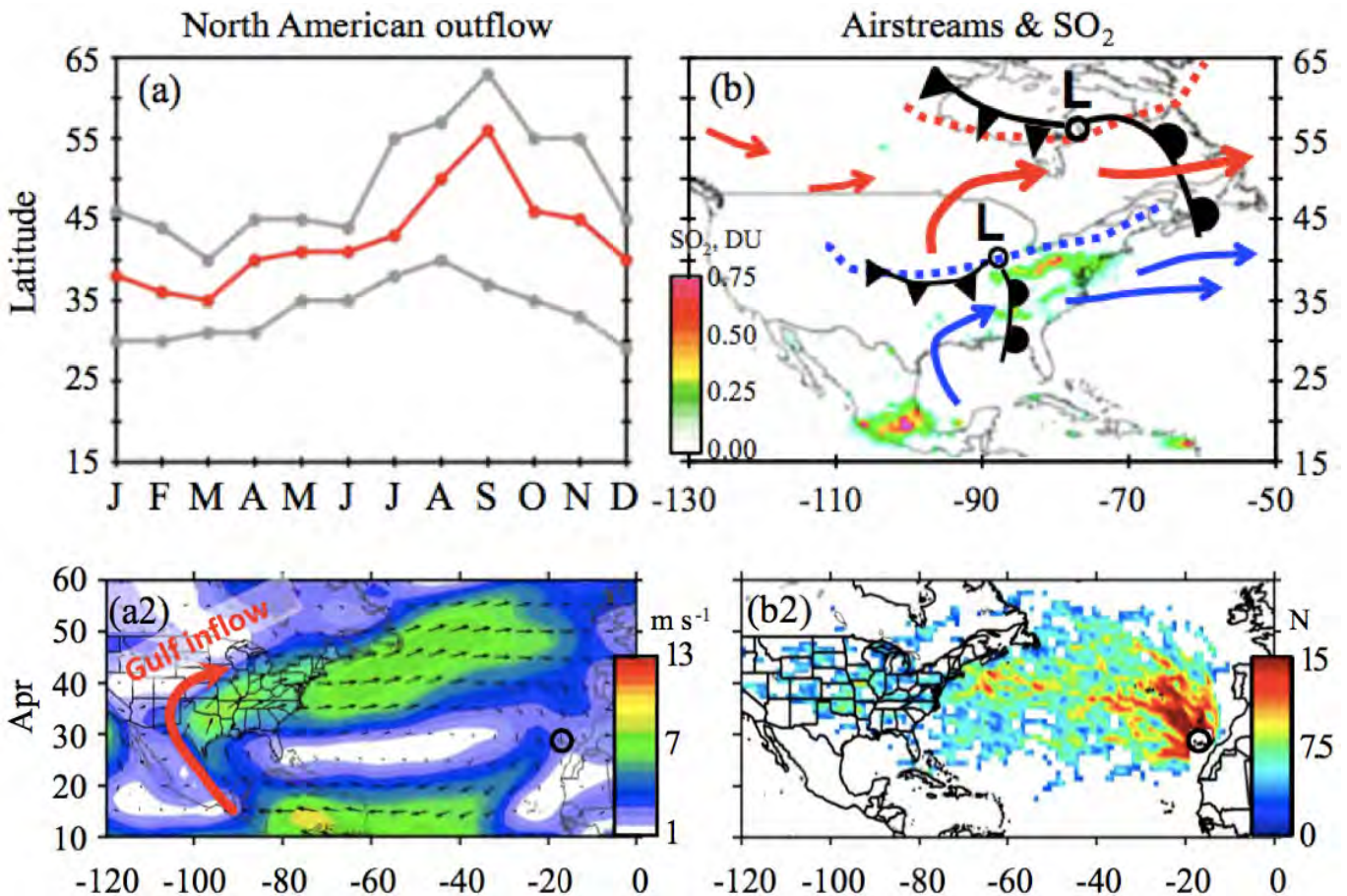


Figura 8.5. Modelo conceptual de la exportación de aerosoles desde América del Norte que ilustra la latitud del flujo de salida norteamericano (a1), las bajas y los frentes asociados a la intensificación de la exportación de aerosoles al Atlántico (b1), la entrada en el Golfo y la exportación hacia el oeste promediada en abril (como representativa de la temporada de primavera, a2) y la vía de transporte asociada (b2). Reproducido de García *et al.* (2017b).

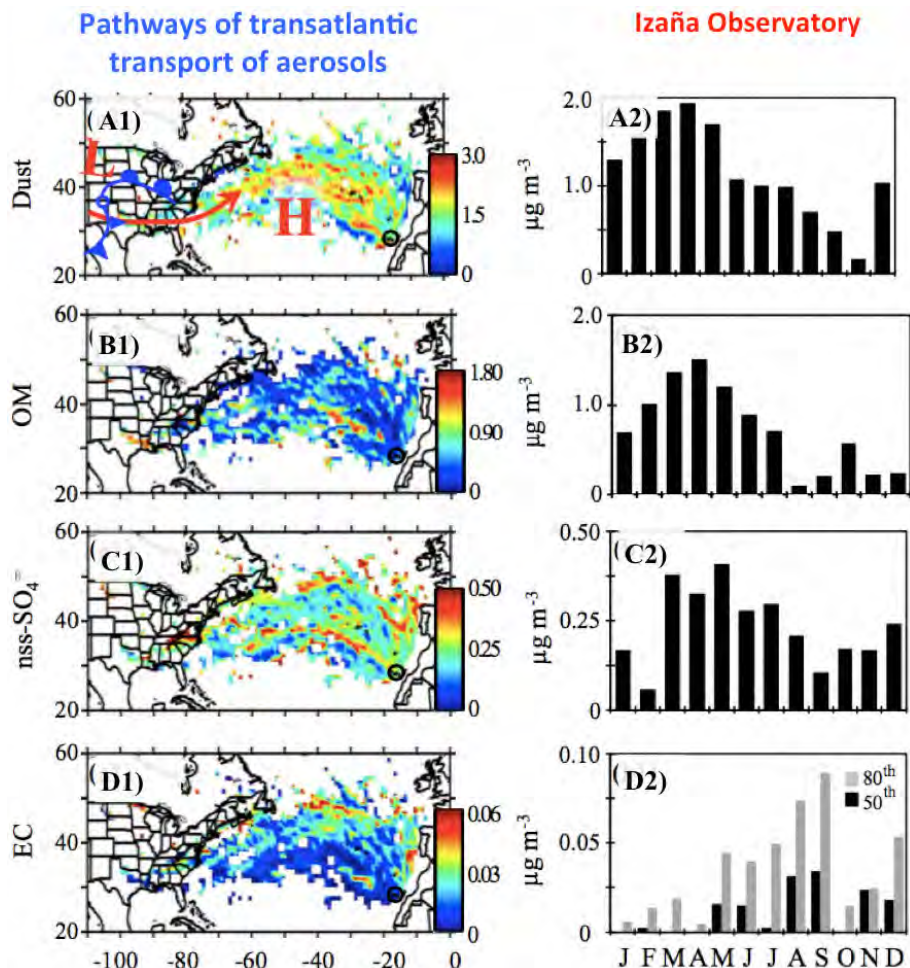


Figura 8.6. Gráficos de mediana de concentraciones en receptor (MCAR) (columna izquierda) y valor mensual del percentil 50 (columna derecha) para polvo, materia orgánica (OM), sulfato de sal no marina ( $\text{nss-SO}_4^-$ ) y carbono elemental (EC). Reproducido de García *et al.* (2017b).

### 8.3.4 Cuantificación de los flujos de deposición seca y húmeda

El CIAI contribuyó a un estudio que cuantifica los flujos de deposición seca y húmeda en dos regiones con una influencia africana diferenciada (Castillo *et al.*, 2017). Las dos deposiciones se midieron en un lugar cercano a África (Santa Cruz de Tenerife,

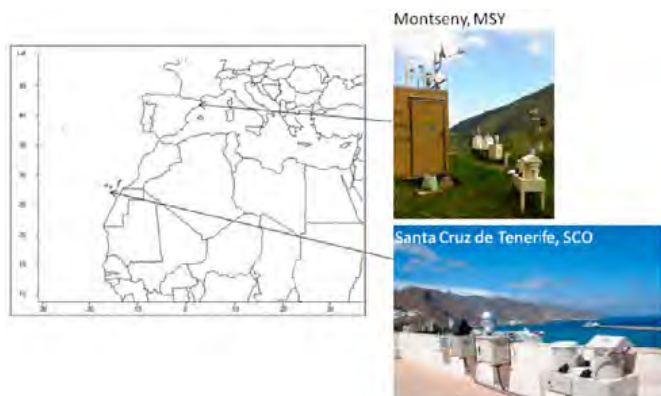


Figura 8.7. Mapa de los emplazamientos utilizados en este estudio, Montseny (RMS) y Santa Cruz de Tenerife (SCO). En el primer plano de las fotos de ambos instrumentos se muestran los colectores de deposición húmeda/seca. Reproducido de Castillo *et al.* (2017).

SCO) y en otro distante situado en el nordeste español (La Castanya, Montseny, MSY) (fig. 8.7).

Debido a la importancia de la influencia africana en la acumulación de partículas en la atmósfera, el estudio abordó específicamente la contribución de los eventos del norte de África (eventos NAF) en comparación con otras procedencias (eventos no NAF) en las vías húmedas y secas en los dos emplazamientos. En SCO, la mayoría de los elementos derivados de la corteza se depositaron en modo seco, y los eventos NAF contribuyeron más que los eventos no NAF. Los elementos marinos, por el contrario, se depositaron principalmente en este lugar en forma húmeda, con predominio de eventos no NAF. En MSY, la deposición húmeda de  $\text{SO}_4\text{-S}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  y  $\text{NH}_4\text{-N}$  durante los eventos NAF fue mayor que en el emplazamiento próximo a África, ya sea en modo húmedo o seco.

Este hecho sugiere que el polvo mineral interactúa con los contaminantes y la superficie del mineral se recubre con iones de amonio, sulfato y nitrato cuando el penacho de polvo se encuentra con masas de aire contaminadas en su camino desde el norte de África hasta el Mediterráneo occidental. El polvo africano puede proporcionar un mecanismo de eliminación de la contaminación y nuestros resultados ponen de manifiesto que esta eliminación es más eficaz en el modo húmedo en lugares alejados de la fuente de minerales.



## 8.4 Participación en proyectos y en estudios y experimentos científicos

Entre el resto de actividades llevadas a cabo figura la participación en el primer estudio epidemiológico de exposición a partículas ultrafinas en áreas urbanas de España, basado en registros de las ciudades de Santa Cruz de Tenerife, Huelva y Barcelona (Tobías *et al.*, 2017). Este estudio utilizó un conjunto de datos obtenidos en proyectos de investigación anteriores liderados por el equipo del CIAI, que se había centrado en las fuentes (Fernández-Camacho *et al.*, 2015; González *et al.*, 2011; González y Rodríguez, 2013; Rodríguez *et al.*, 2007) y en el impacto de las partículas ultrafinas en la enfermedad cardiovascular (Domínguez-Rodríguez *et al.*, 2011, 2015, 2016).

El grupo de investigación de aerosoles *in situ* también ha aportado sus contribuciones a estudios sobre la formación de partículas ultrafinas (Alonso-Blanco *et al.*, 2018), la influencia de la topografía de los observatorios atmosféricos (Collaud Coen *et al.*, 2018) y las propiedades de dispersión de las partículas aerosoles en el marco de la red ACTRIS (Pandolfi *et al.*, 2018).

Durante este periodo, algunas de las actividades citadas con anterioridad se desarrollaron en el marco del proyecto AEROATLAN (CGL2015-66299-P) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

## 8.5 Referencias

- Alonso-Blanco, E., Gómez-Moreno, F.J., Artíñano, B., Iglesias-Samitier, S., Juncal-Bello, V., Piñeiro-Iglesias, M., López-Mahía, P., Pérez, N., Brines, M., Alastuey, A., García, M.I., Rodríguez, S., Sorribas, M., del Águila, A., Titos, G., Lyamani, H., Alados-Arboledas, L.: Temporal and spatial variability of atmospheric particle number size T distributions across Spain. *Atmospheric Environment* 190, 146-160, 2018.
- Castillo, S., A. Alastuey, E. Cuevas, X. Querol, A. Avila: Quantifying Dry and Wet Deposition Fluxes in Two Regions of Contrasting African Influence: The NE Iberian Peninsula and the Canary Islands, *Atmosphere*, 8, 5, 86; doi:10.3390/atmos8050086, 2017.
- Collaud Coen, M., Andrews, E., Aliaga, D., Andrade, M., Angelov, H., Bukowiecki, N., Ealo, M., Fialho, P., Flentje, H., Hallar, A. G., Hooda, R., Kalapov, I., Krejci, R., Lin, N.-H., Marinoni, A., Ming, J., Nguyen, N. A., Pandolfi, M., Pont, V., Ries, L., Rodríguez, S., Schauer, G., Sellegri, K., Sharma, S., Sun, J., Tunved, P., Velasquez, P. and Ruffieux, D.: Identification of topographic features influencing aerosol observations at high altitude stations, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 12289-12313, <https://doi.org/10.5194/acp-18-12289-2018>, 2018.
- Cuevas, E., Gómez-Peláez, A. J., Rodríguez, S., Terradellas, E., Basart, S., García, R.D., García, O.E., Alonso-Pérez, S.: The pulsating nature of large-scale Saharan dust transport as a result of interplays between mid-latitude Rossby waves and the North African Dipole Intensity. *Atmos. Environ.* 167, 586-602, 2017.
- Domínguez-Rodríguez, A., Abreu-Afonso, J., Rodríguez, S., Juárez-Preda, R. A., Arroyo-Ucar, E., Jiménez-Sosa, A., González, Y., Abreu-González, P., Avanzas, P.: Comparative study of ambient air particles in patients hospitalized for heart failure and acute coronary syndrome. *Rev. Esp. Cardiol.* 64, 661-666, 2011.
- Domínguez-Rodríguez, A., Rodríguez, S., Abreu-González, P., Avanzas, P., Juárez-Prera, R. A.: Black carbon exposure, oxidative stress markers and major adverse cardiovascular events in patients with acute coronary syndromes. *International Journal of Cardiology* 188, 47-49, 2015.
- Domínguez-Rodríguez, A., Juárez-Prera, R. A., Rodríguez, S., Abreu-González, P., Avanza, P.: Influence of meteorological conditions on hospital admission in patients with acute coronary syndrome with and without ST-segment elevation: Results of the AIRACOS study. *Medicina Intensiva*, 40, 4, 201-207, 2016.
- Fernández-Camacho, R., Brito Cabeza, I., Aroba, J., Gómez-Bravo, F., Rodríguez, S., de la Rosa, J.: Assessment of ultrafine particles and noise measurements using fuzzy logic and data mining techniques. *Science of the Total Environment* 512-513, 103-113, 2015.
- García, M. I., van Drooge, B. L., Rodríguez, S. and Alastuey, A.: Speciation of organic aerosols in the Saharan Air Layer and in the free troposphere westerlies, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 8939-8958, <https://doi.org/10.5194/acp-17-8939-2017>, 2017a.
- García, M. I., Rodríguez, S. and Alastuey, A.: Impact of North America on the aerosol composition in the North Atlantic free troposphere, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 7387-7404, <https://doi.org/10.5194/acp-17-7387-2017>, 2017b.
- González, Y., Rodríguez, S., Guerra García, J. C., Trujillo, J. L., García, R., 2011. Ultrafine particles pollution in urban coastal air due to ship emissions. *Atmos. Environ.* 45, 4907-4914.
- González, Y., Rodríguez, S.: A comparative study on the ultrafine particle episodes induced by vehicle exhaust, a crude oil refinery and ship emissions. *Atmospheric Research* 120-121, 43-54, 2013.
- Gómez-Moreno, F. J., Alonso, E., Artíñano, B., Juncal-Bello, V., Iglesias-Samitier, S., Piñeiro-Iglesias, M., López-Mahía, P., Pérez, N., Pey, J., Ripoll, A., Alastuey, A., de la Morena, B. A., García, M. I., Rodríguez, S., Sorribas, M., Titos, G., Lyamani, H., Alados-Arboledas, L., Latorre, E., Tritscher, T., Bischof, O. F.: Intercomparisons of Mobility Size Spectrometers and Condensation Particle Counters in the Frame of the Spanish Atmospheric Observational Aerosol Network. *Aerosol Science and Technology*, 49, 9, 2015.
- Pandolfi, M., Alados-Arboledas, L., Alastuey, A., Andrade, M., Angelov, C., Artíñano, B., Backman, J., Baltensperger, U., Bonasoni, P., Bukowiecki, N., Collaud Coen, M., Conil, S., Coz, E., Cretn, V., Dudoitis, V., Ealo, M., Eleftheriadis, K., Favez, O., Fetfatzis, P., Fiebig, M., Flentje, H., Ginot, P., Gysel, M., Henzing, B., Hoffer, A., Holubova Smejkalova, A., Kalapov, I., Kalivitis, N., Kouvarakis, G., Kristensson, A., Kulmala, M., Lihavainen, H., Lunder, C., Luoma, K., Lyamani, H., Marinoni, A., Mihalopoulos, N., Moerman, M., Nicolas, J., O'Dowd, C., Petäjä, T., Petit, J.-E., Pichon, J. M., Prokopciuk, N., Putaud, J.-P., Rodríguez, S., Sciare, J., Sellegri, K., Swietlicki, E., Titos, G., Tuch, T., Tunved, P., Ulevicius, V., Vaishya, A., Vana, M., Virkkula, A., Vratolis, S., Weingartner, E., Wiedensohler, A. and Laj, P.: A European aerosol phenomenology – 6: scattering properties of atmospheric aerosol particles from 28 ACTRIS sites, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 7877-7911, <https://doi.org/10.5194/acp-18-7877-2018>, 2018.
- Rodríguez, S., Van Dingenen, R., Putaud, J.-P., Dell'Acqua, A., Pey, J., Querol, X., Alastuey, A., Chenery, S., Ho, K.-F., Harrison, R., Tardivo, R., Scarnato, B., Gemelli, V., 2007. A study on the relationship between mass concentrations, chemistry and number size distribution of urban fine aerosols in Milan, Barcelona and London. *Atmos. Chem. Phys.* 7, 2217-2232, 2007.
- Rodríguez, S.: Updated report of the in-situ aerosol program at Izaña, and feedback to the WCCAP report of the November 2006 audit. March 2014, 2014. <http://www.wmo-gaw-wccaerosol-physics.org/files/station-replay-Izana-2006-Update-Report-by-s.rodriguez-20140325.pdf>



Rodríguez, S., Cuevas, E., Prospero, J. M., Alastuey, A., Querol, X., López-Solano, J., García, M. I. and Alonso-Pérez, S.: Modulation of Saharan dust export by the North African dipole, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 7471-7486, 2015.

Tobías, A., Rivas, I., Reche, C., Alastuey, A., Rodríguez, S., Fernández-Camacho, R., Sánchez de la Campa, A. M., de la Rosa, J., Sunyer, J., Querol, X.: Short-term effects of ultrafine particles on daily mortality by primary vehicle exhaust versus secondary origin in three Spanish cities. *Environment International* 111, 144-151, 2018.

## 8.6 Personal

Dr. Sergio Rodríguez (AEMET; ex jefe del programa), dejó el CIAI en julio de 2018;

Dra. Natalia Prats (AEMET; jefa del programa en funciones);

Dra. Elisa Sosam Trujillo (AEMET; investigadora científica), dejó el CIAI en diciembre de 2018;

Dra. Isabel García (ULL/AEMET; estudiante de doctorado), dejó el CIAI en junio de 2017;

Ramón Ramos (AEMET; jefe de infraestructuras);

Concepción Bayo Pérez (AEMET; observadora meteorológica y técnica de la VAG).

## 9 Aerosoles en columna

### 9.1 Principales objetivos científicos

Los principales objetivos científicos de este programa son:

- Efectuar mediciones a largo plazo de alta calidad de las propiedades de los aerosoles en columna en la TL y en la CLM.
- Caracterizar los aerosoles en la capa de aire sahariana y en la capa límite marina.
- Desarrollar nuevas metodologías e instrumentación, y también nuevas técnicas de calibración, para las observaciones de los aerosoles y el vapor de agua en columna.
- Validar el modelo de polvo mineral.
- Validar los datos de aerosoles obtenidos por satélite.
- Ofrecer calibraciones e intercomparaciones exactas de los fotómetros solares y lunares.

### 9.2 Programa de mediciones

El programa de mediciones es muy amplio e incluye sensores de teledetección en tres de las estaciones del CIAI (IZO, SCO y TPO, véanse las tablas 3.2, 3.4 y 3.6) y en estaciones colaboradoras de otras instituciones.

Dos de los parámetros más importantes para el seguimiento a largo plazo de la evolución de los aerosoles atmosféricos son el espesor óptico de los aerosoles (AOD), que representa la cantidad de aerosoles que se encuentran en la columna atmosférica, y el exponente de Ångström (AE), que proporciona información sobre el tamaño de las partículas. Las mediciones del AE permiten estimar el tipo de aerosoles que se está observando. Ambos parámetros se han medido en el IZO desde 2004 y en el SCO desde 2005, como estaciones de AERONET (fig. 9.1) y en el caso del IZO también como estación de la red de Radiómetros de filtro de precisión de la Vigilancia de la Atmósfera Global de la OMM (VAG-PFR) desde julio de 2001.

El CIAI gestiona los emplazamientos AERONET del IZO (fig. 9.2), el SCO (fig. 9.3) y el TPO, y coopera estrechamente con el de Tamanrasset (Argelia). Además, el CIAI colabora y proporciona asistencia técnica al emplazamiento AERONET de El Cairo (Egipto). Esta red única ofrece información sobre el

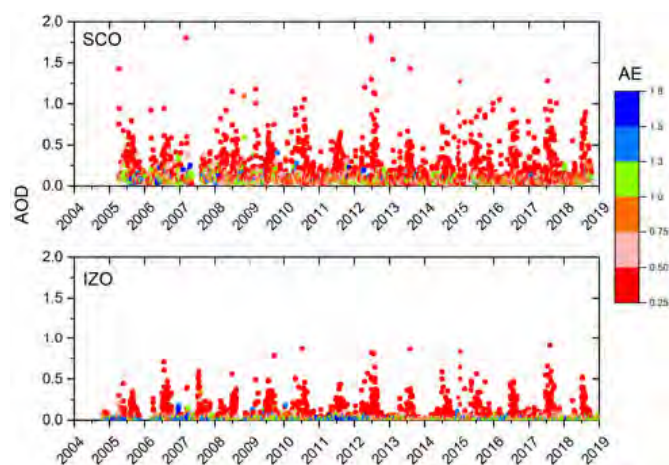


Figura 9.1. Series de datos a largo plazo de AOD y AE en el SCO y el IZO (2004-2018).



Figura 9.2. Fotómetros maestros Cimel de la instalación de calibración AERONET-EUROPE en el Observatorio Atmosférico de Izaña y dos fotómetros PANDORA (en primer plano) en un día brumoso.

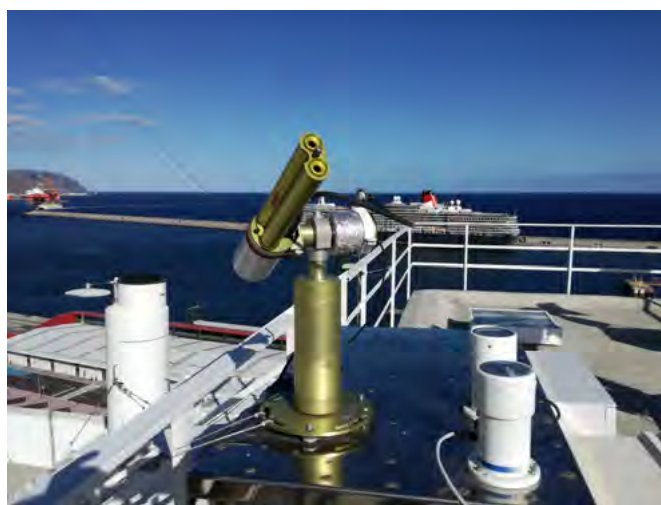


Figura 9.3. Instrumento Cimel en Santa Cruz de Tenerife (SCO). A la derecha, un radiómetro ZEN y a la izquierda un tubo para evitar la luz solar directa y los reflejos en el lidar NASA-MPLNet situado en la habitación de abajo.

polvo cerca de las fuentes del mismo sobre el Sahara y es una instalación clave de observación en el seno del Centro Regional SDS-WAS (sección 18) para modelizar, verificar y validar los datos de polvo de los productos satelitales de aerosoles.

Otra actividad de aseguramiento de la calidad es la realización rutinaria de calibraciones de fotómetros solares utilizando la técnica de calibración Langley (desde 2011). El IZO, además de ser una estación de la red VAG-PFR, es uno de los lugares de condiciones prístinas, junto con Mauna Loa, adecuados para realizar calibraciones Langley de los PFR maestros del Centro Radiométrico Mundial (Wehrl, 2000; Kouremeti *et al.*, 2016; Toledano *et al.*, 2018).

Los fotómetros maestros Cimel de las redes AERONET, AERONET-Europa y la Red china de teledetección de aerosoles (CARSNET), administrada por la Administración Meteorológica de China (CMA; Laboratorio clave de química atmosférica, Centro de vigilancia y servicios atmosféricos, Academia China de Ciencias Meteorológicas), se calibran periódicamente en el Observatorio de Izaña. CARSNET tiene 37 emplazamientos operativos, incluida la estación mundial de la VAG de Waliguan (Che *et al.*, 2009).

Las calibraciones Langley de los fotómetros solares Cimel de la red AERONET se complementan con la calibración en radiancia realizada en el laboratorio de óptica del IZO utilizando una esfera integrante (Guirado *et al.*, 2012).

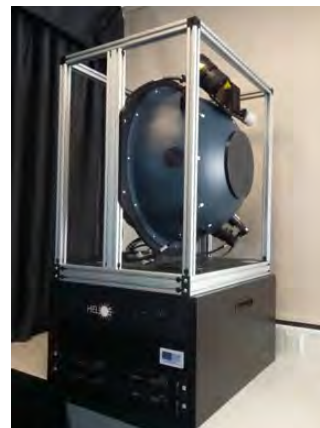
A finales de 2017 se adquirieron tres nuevos fotómetros Cimel CE318T (triple) y una esfera de integración en el marco del proyecto «Equipamiento para la monitorización e investigación en la estación global VAG de Izaña (Tenerife) de los componentes atmosféricos que causan y modulan el cambio climático» (contrato AEDM15-BE-3319). Este proyecto de infraestructuras de I+D ha sido financiado por la Agencia Estatal de Investigación del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, en la Convocatoria de proyectos de equipamiento científico, cofinanciado con fondos FEDER.



**Figura 9.4.** Cajas electrónicas de los tres fotómetros CE318-T de Cimel (# 1089, # 1090 y # 1091).

El fotómetro CE318-T mide en las longitudes de onda centradas en 340, 380, 440, 500, 675, 870, 936, 1020 y 1640 nm de longitud de onda y realiza tres tipos de medición: al sol (modo SUN), a la luna (modo MOON) y al cielo (modo SKY) en el plano principal y en el almucántar (Barreto *et al.*, 2017). Con los dos primeros modos se determina el AOD en estos canales, así como el vapor de agua en columna (agua precipitable) con el canal de 936 nm, mientras que las geometrías plano principal y almucántar permiten obtener, mediante algoritmos de inversión, una gran cantidad de propiedades ópticas y la distribución de tamaños de los aerosoles atmosféricos. Las incertidumbres en la determinación del AOD durante el periodo nocturno varían entre 0,011 y 0,018 en el caso de los instrumentos de referencia, y entre 0,012 y 0,021 para los de campo (Barreto *et al.*, 2017).

Estos tres nuevos fotómetros (fig. 9.4) se han incorporado a las redes AERONET (NASA) y AERONET-Europa (ACTRIS). El fotómetro de referencia en Izaña (#1089) opera permanentemente como referencia Cimel primaria, mientras que los fotómetros #1090 y #1091 operarán en el TPO y el SCO hasta el inicio del proyecto CARS de ACTRIS durante el cual los instrumentos itinerantes actuarán como fotómetros de referencia que se enviarán al Grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid (GOA-UVA) cada tres meses, aproximadamente, para que los compañeros del Grupo puedan transferir la calibración a los instrumentos de campo Cimel en el marco de este mismo proyecto. Además, el instrumento de referencia principal desempeñará un papel importante, ya que se comparará continuamente con la referencia de AOD de la VAG de la OMM, convirtiéndose en un vínculo clave en la trazabilidad entre las redes AERONET y VAG-PFR.



**Figura 9.5.** La nueva esfera de integración Ulbricht de 20 pulgadas.

La nueva esfera de integración Ulbricht de 20 pulgadas contiene cuatro lámparas. Se utiliza para realizar las calibraciones de radiancia del CE318-T en modo SKY (fig. 9.5).

La esfera Ulbricht se ha integrado en las redes AERONET y AERONET-Europa, ya que tiene las mismas características que las esferas de integración del Centro de Vuelos Espaciales Goddard de la NASA (Greenbelt, Maryland, EE. UU.), el GOA-UVA y el Laboratorio de óptica atmosférica (LOA) de Lille. La intercomparabilidad entre las cuatro esferas está asegurada por las calibraciones anuales de las tres redes europeas en comparación con la de la NASA, que transfiere su calibración mediante un fotómetro CE318 itinerante dedicado exclusivamente a esta tarea (véase el apartado 3.1.1).

El CIAI y el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial de España (IP: Dra. Margarita Yela) gestionan conjuntamente un programa de observación de aerosoles por medio de un lidar microplulsado (MPL-3), perteneciente a la Red de lidars microplulsados (MPLNet) de la NASA, que inició un programa de observación a largo plazo en 2005. El instrumento forma parte de la red mundial de observación lidar de aerosoles de la MPLNet de la NASA y opera en modo continuo a tiempo completo (24 horas al día y 365 días al año) excepto alrededor del mediodía durante el solsticio de verano. El instrumento operado en el SCO es el único lidar de aerosoles del norte de África que proporciona información sobre la estructura vertical de la capa de aire sahariana sobre el Atlántico norte.

Este lidar ya alcanzó su máxima vida útil y, en mayo de 2018, fue sustituido por el nuevo lidar MPL-4B que la MPLNet del Centro de Vuelos Espaciales Goddard de la NASA (fig. 9.6) ofreció al CIAI hasta la adquisición de un nuevo instrumento que se instalará en el SCO, previsiblemente a finales de 2019 o principios de 2020. Este nuevo sistema es capaz de proporcionar las características comunes de la versión anterior MPL-3 además de realizar mediciones de retrodispersión de la polarización dual que permiten a los investigadores discriminar entre los tipos de aerosoles y la fase de las nubes. Esto se hace usando un cristal líquido ferroeléctrico (FLC) para garantizar una velocidad de transferencia de datos más rápidas y una estrategia de medición ligeramente modificada para adaptarse a la diferencia en las propiedades del polarizador. Las principales características técnicas del MPL-4 se detallan en la tabla 9.1.



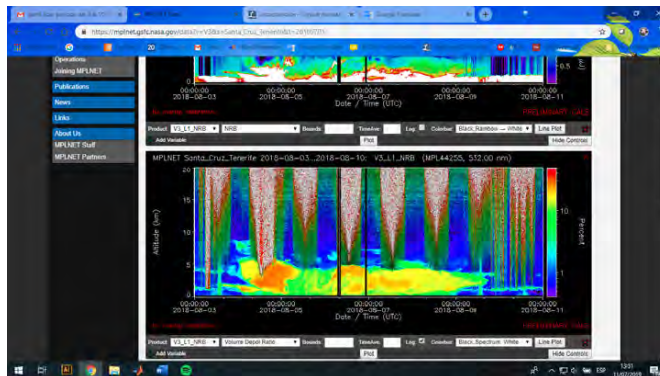


**Figura 9.6. Instalación del nuevo MPL-4 por Sebastian A. Stewart (ingeniero superior de la MPLNet) en el SCO. Ramón Ramos, Yballa Hernández y África Barreto, recibiendo formación sobre el nuevo instrumento.**

**Tabla 9.1. Características técnicas del lidar micropulsado (MPL) del Observatorio de Santa Cruz de Tenerife.**

Lidar micropulsado versión 4 (MPL-4)	
<b>Transmisor</b>	
Láser	Nd-YAG
Longitud de onda	532 nm
Frecuencia de repetición de pulso	2500 Hz
Energía de pulso	6-8 $\mu$ J
<b>Receptor</b>	
Tipo	Maksutov Cassegrain
Diámetro	18 cm
Focal	240 mm
Campo de visión	Campo dual de configuración visual: FOV estrecho: 100 $\mu$ rad FOV ancho: 2 mrad
Polarización	Componentes copolar y contrapolar
<b>Detector</b>	
Tipo	Fotodiodo de avalancha (APD)
Modo	Fotoconteo

Las capacidades mejoradas del MPL-4 se han utilizado para estudiar una intrusión de contaminación por quema de biomasa durante un episodio de polvo del desierto en el Observatorio Atmosférico de Izaña. En la fig. 9.7 se presenta la evolución del índice de depolarización en la columna atmosférica sobre la estación de Santa Cruz en una sucesión de nueve días consecutivos. Esta información se utilizará en un futuro estudio científico sobre las propiedades de la combustión de biomasa mezclada con polvo sahariano.



**Figura 9.7. Evolución del índice de depolarización del lidar MPL-4 en la columna atmosférica sobre la estación de Santa Cruz de Tenerife del 3 al 11 de agosto de 2018.**

Mientras tanto, en octubre de 2018 se montó el antiguo lidar MPL-3 en la nueva instalación lidar del IZO con el fin de ofrecer, durante casi un año, mediciones simultáneas con dos MPL, uno situado al nivel del mar y el otro en Izaña (2373 m s.n.m.), junto con las mediciones de sus fotómetros AERONET localizados en el mismo lugar (fig. 9.8).

Además de los MPL-3 y MPL-4, se dispone asimismo de un lidar Cimel CE376, que funciona en dos longitudes de onda (532 y NIR < 850 nm) con dos canales de depolarización. Este lidar complementa el MPL existente en el SCO, y su misión principal es caracterizar la capa de aire sahariana (SAL) y la nubosidad (sobre todo cirros y altoestratos asociados a la parte superior de la SAL), utilizando las sinergias con la red de fotómetros AERONET situados a tres altitudes (SCO, IZO y PTO) y sin verse afectado por la capa límite marina. Este instrumento aún está sujeto a ajustes y calibraciones en el IZO donde será instalado después de que el antiguo MPL-3 sea trasladado a un nuevo emplazamiento del INTA en la península ibérica, previsto para el otoño de 2019. En la tabla 9.2 se muestran las principales características técnicas del lidar CE376.

Como parte del Banco de pruebas de Izaña para instrumentos de teledetección de aerosoles y vapor de agua de la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación (CIMO) de la OMM, se han emprendido algunas actividades relacionadas con las mediciones de aerosoles en columna, y específicamente con el desarrollo de metodologías e instrumentos (secciones 21 y 22).



**Figura 9.8. El MPL-3 del INTA, en las instalaciones lidar del IZO (instalado en octubre de 2018).**

**Tabla 9.2. Características técnicas del lidar CE376 del Observatorio de Santa Cruz de Tenerife.**

<b>Lidar Cimel CE376</b>	
<b>Transmisor</b>	
Láser	Láser verde: frecuencia duplicada Nd-YAG Láser NIR: diodo láser pulsado
Longitud de onda	Verde: 532 nm NIR: < 850 nm
Frecuencia de repetición de pulso	5000 Hz
Energía de pulso	Verde: 5-10 $\mu$ J NIR: 3-5 $\mu$ J
<b>Receptor</b>	
Tipo	Galileo
Diámetro	10 cm tanto para emisión como para recepción
Focal	200 mm
Divergencia total del haz	Emisión: verde: 100 $\mu$ rad, NIR: < 250 $\mu$ rad Recepción: verde: 200 $\mu$ rad, NIR: < 300 $\mu$ rad
<b>Detector</b>	
Tipo	Fotodiodo de avalancha (APD) APD QE 55 %/70 %
Modo	Fotoconteo

### 9.3 Resumen de los resultados más destacados durante el periodo 2017-2018

A continuación se resumen los resultados más relevantes obtenidos durante el periodo considerado en este informe.

#### 9.3.1 Serie temporal de AOD (1941-2017) en el Observatorio de Izaña

En el IZO se ha reconstruido una serie temporal de 77 años del AOD diario a 500 nm desde 1941 hasta 2017 (fig. 9.9) combinando estimaciones de AOD a partir de redes neuronales artificiales (ANN) de 1941 a 2001, y medidas de AOD de la red AERONET (fotómetro Cimel) entre 2003 y 2017. El análisis se limita a condiciones de ausencia de nubosidad (octas = 0) y para el mes de julio, que es cuando se observa la mayor carga de aerosoles en el IZO (partículas de polvo del Sahara).

Las ANN han demostrado ser una herramienta muy útil para reconstruir series temporales de AOD a partir de mediciones

meteorológicas realizadas *in situ* (Nd, VIS, FCS y HR). La comparación entre las medidas experimentales de AOD y las obtenidas a partir de las ANN es bastante buena, con coeficientes de correlación de Pearson ( $R$ ) > 0,90.

La serie temporal de AOD se ha comparado con series largas de registros meteorológicos que identifican los eventos de polvo sahariano en el IZO. Por un lado, se ha comparado el número de días con  $AOD \geq 0,20$  con el número de días en los que los observadores meteorológicos informaron de la presencia de polvo en suspensión (clave SYNOP 05-06) obteniendo  $R = 0,88$  (fig. 9.10a), y por otro lado se ha analizado la relación entre las medianas mensuales del AOD y el porcentaje mensual de tiempo en el que el viento procede del segundo cuadrante, obteniendo  $R = 0,87$  (fig. 9.10b). Se concluye que la serie temporal de AOD reconstruida captura bien las variaciones interanuales de AOD y las intrusiones de masas de aire sahariano cargadas de polvo en una serie temporal de 77 años y que, por lo tanto, es adecuada para su utilización en análisis climáticos (García *et al.*, 2016; García *et al.*, 2018).

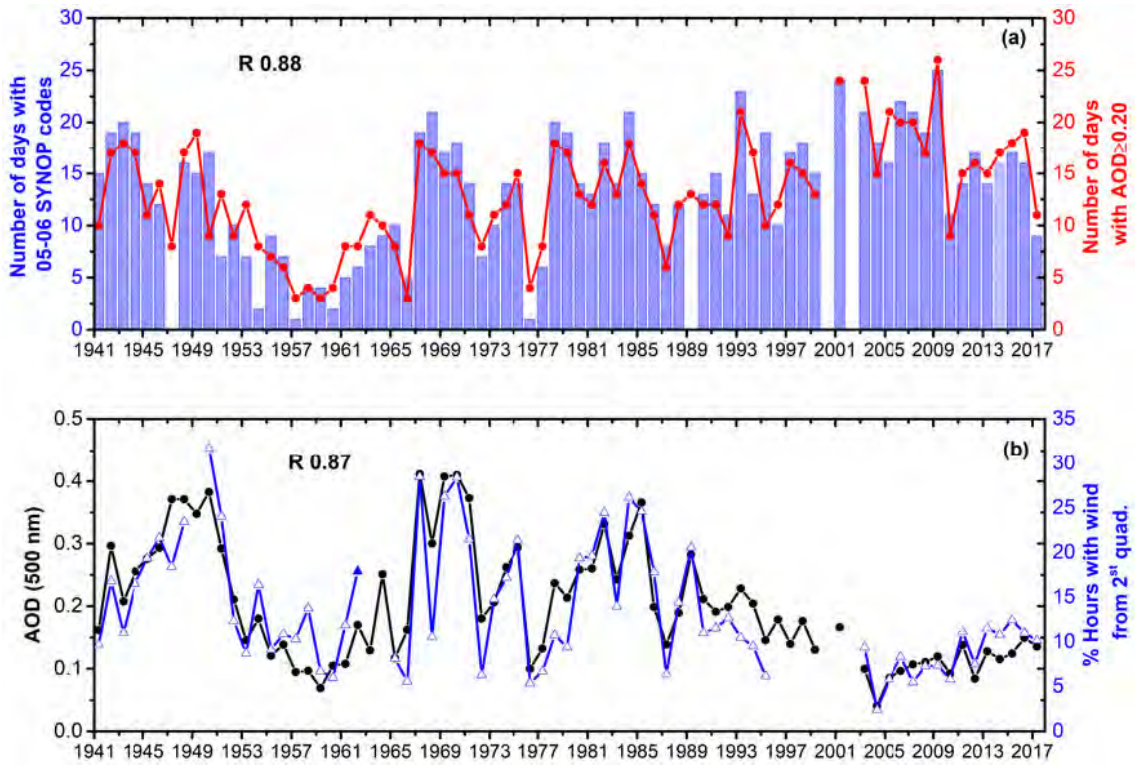


Figura 9.9. Serie temporal de: a) número de días con datos SYNOP que informan de polvo en suspensión (claves SYNOP 05-06) en el eje izquierdo (barras), y número de días con AOD  $\geq 0,20$  (línea roja) en el eje derecho; y b) medianas mensuales de AOD (línea negra) y porcentaje mensual de tiempo en que el viento sopla del segundo cuadrante (E-S;  $90^{\circ}$ - $180^{\circ}$ ) (línea azul). Reproducido de García *et al.* (2018).

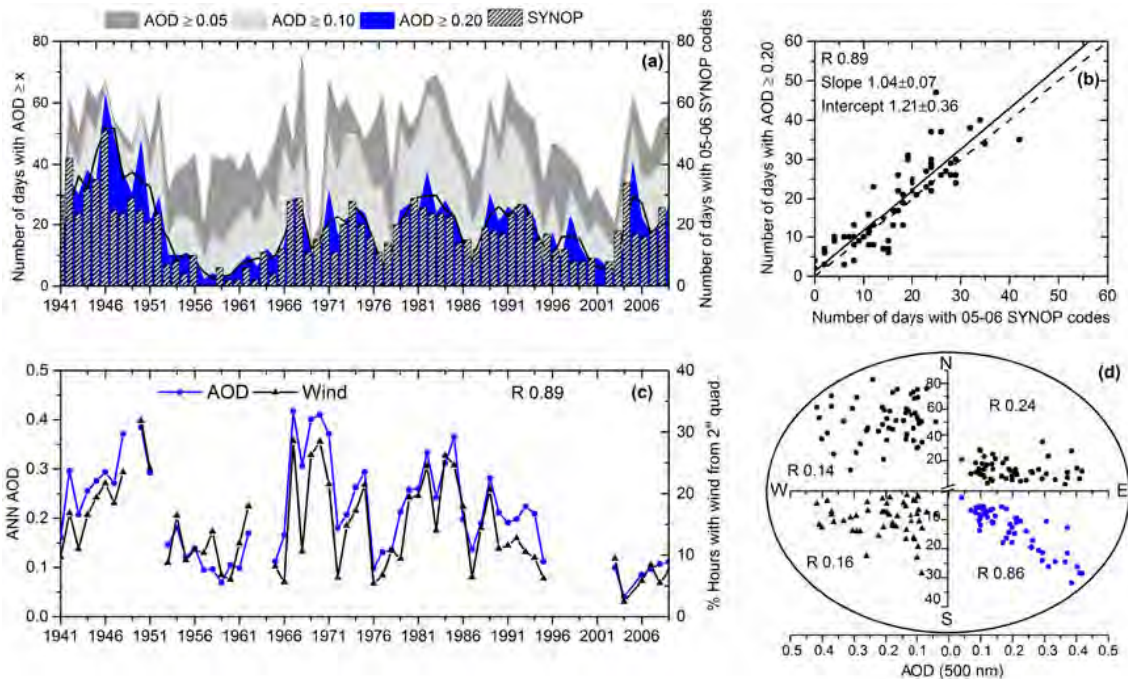


Figura 9.10. a) Serie temporal del número de días agrupados en intervalos de AOD (estimados por las ANN) ( $AOD \geq 0,05$ ;  $AOD \geq 0,10$ ;  $AOD \geq 0,20$ ) en el eje izquierdo, mientras que en el eje derecho, las barras indican el número de días con informes de datos SYNOP de polvo en suspensión (claves SYNOP 05-06) para el periodo 1941-2009. La media móvil de 5 años se muestra en negro. b) Diagrama de dispersión del número de días con AOD (estimados por las ANN)  $\geq 0,20$  y número de días con claves SYNOP 05-06. Los parámetros de ajuste de mínimos cuadrados se muestran en la leyenda. c) Serie temporal de las medianas mensuales de AOD (estimados por las ANN) (línea azul) y porcentaje mensual de tiempo en que el viento sopla del segundo cuadrante (E-S;  $90^{\circ}$ - $180^{\circ}$ ) (línea negra) en el IZO en julio durante el periodo 1941-2009. d) Porcentaje de tiempo (eje y) en que el viento sopla de cada uno de los cuatro cuadrantes frente a las medianas mensuales de AOD (estimados por las ANN) (eje x). R indica el coeficiente de Pearson. Reproducido de García *et al.*, 2016.



### 9.3.2 Cuarta comparación de radiómetros de filtro de la OMM para las mediciones del espesor óptico de los aerosoles

La IV Comparación de radiómetros de filtro se llevó a cabo al mismo tiempo que la XII Comparación internacional de pirheliómetros en Davos (Suiza). Se invitó a participar a instituciones con instrumentos pertenecientes a diferentes redes globales de observación del AOD. La comparación tuvo lugar en las instalaciones del CRM del PMOD, del 28 de septiembre al 16 de octubre de 2015. En esta campaña participaron treinta radiómetros de filtro y espectrorradiómetros de 12 países.

El CIAI participó en esta campaña de intercomparación con el nuevo Cimel CE318-T (#917) «triple» que había sido calibrado previamente en el Observatorio de Izaña con la técnica de calibración Langley. Durante 2017 y 2018 los participantes en la campaña trabajaron en el estudio de los datos de intercomparación, así como en la elaboración de la publicación correspondiente (Kazadzis *et al.*, 2018).

Los resultados mostraron que las diferencias absolutas de todos los instrumentos con respecto a la referencia cumplían el criterio de la OMM de poseer el 95 % de las diferencias comprendidas dentro del intervalo de  $0,005 \pm 0,001/m$  (donde  $m$  es la masa de aire). Al menos 24 de 29 instrumentos lograron este objetivo tanto a 500 como a 865 nm de longitud de onda, mientras que 12 de 17 y 13 de 21 lo lograron a 368 y 412 nm, respectivamente. Al buscar fuentes que expliquen las diferencias entre los diferentes instrumentos, se encontró que todas las diferencias individuales relacionadas con Rayleigh,  $NO_2$ , ozono, cálculos de vapor de agua y espesores ópticos relacionados y cálculos de masa de aire eran menores que 0,01 en AOD a 500 y 865 nm. Se han comparado los diferentes algoritmos de detección de nubes utilizados. Los cálculos del exponente de Ångström pusieron de relieve diferencias relativamente grandes entre los diferentes

instrumentos, en parte debido a la sensibilidad de este parámetro en condiciones de bajo AOD. Las pequeñas desviaciones generales de estos resultados de AOD y la alta precisión de los instrumentos de referencia de la red de aerosoles constataron la existencia de un marco prometedor para lograr la homogeneidad, la compatibilidad y la armonización entre las diferentes redes de AOD espectrales en un futuro próximo. El Cimel maestro de Izaña obtuvo uno de los mejores resultados de AOD de la intercomparación con el radiómetro de referencia VAG-PFR (fig. 9.11).

### 9.3.3 Evaluación de la calibración mediante el método Langley de fotómetros solares en los emplazamientos de alta montaña de Mauna Loa e Izaña

El CIAI contribuyó a la realización del estudio de Toledano *et al.* (2018) para analizar la idoneidad de los emplazamientos de alta montaña de Mauna Loa e Izaña para llevar a cabo la calibración de fotómetros solares mediante la técnica de calibración Langley. Se han estudiado las características y la estacionalidad del AOD, y también la influencia de la nubosidad, para proporcionar una estimación sólida de la incertidumbre en la calibración, así como el número de días más adecuado para realizar las calibraciones Langley.

Los datos utilizados en estos análisis pertenecen a las redes AERONET y VAG-PFR, que mantienen fotómetros solares de referencia en estas estaciones con largos registros de medición: 22 años en Mauna Loa y 15 años en Izaña. En términos de cielo despejado y de condiciones estables de aerosoles, Mauna Loa (3397 m s.n.m.) muestra un promedio de 377 días Langley (243 por la mañana y 134 por la tarde) por año adecuadas para la calibración Langley, mientras que Izaña (2373 m s.n.m.) muestra 343 días Langley (187 por la mañana y 155 por la tarde) por año (fig. 9.12).

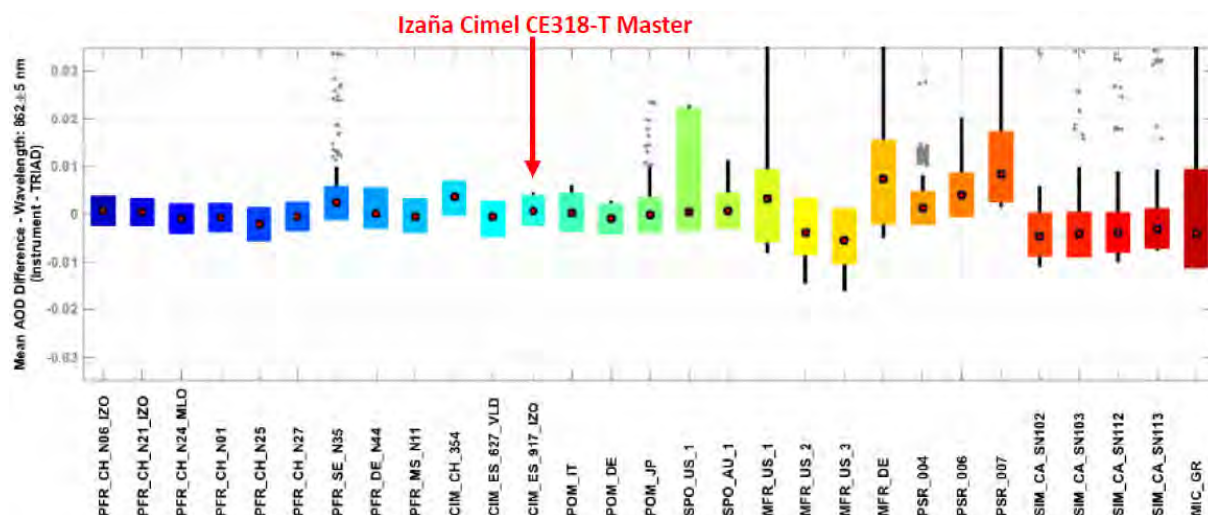
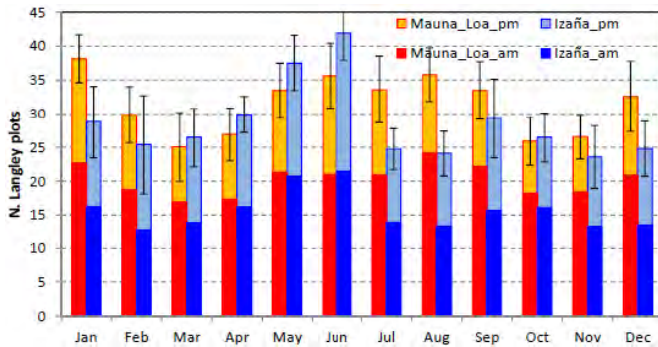


Figura 9.11. Resultados de la comparación de AOD a una longitud de onda de  $865 \pm 5$  nm. Los puntos negros representan la mediana de la diferencia de cada instrumento con respecto a la media de la triada en cada longitud de onda durante los cinco días seleccionados de la IV Comparación de radiómetros de filtro. Los rectángulos representan los percentiles 10 y 90, mientras que las líneas negras se refieren a los valores mínimo y máximo de la distribución excluyendo los datos anómalos. Estos últimos (puntos grises) representan valores que se salen de los percentiles 10 y 90 en 4 veces el ancho de la distribución a un nivel del 10 %. Los colores de los rectángulos solo se utilizan para diferenciar unos instrumentos de otros.

Las líneas azules representan los límites de  $\pm 0,09$ . Adaptado de Kazadzis *et al.* (2018).

La flecha roja señala el instrumento Cimel maestro de Izaña.



**Figura 9.12. Número medio de calibraciones Langley adecuadas por mes en Mauna Loa e Izaña según los datos de las redes VAG-PFR y AERONET.**

Las barras indican  $\pm 1$  desviaciones típicas para cada mes debido a la variabilidad de un año a otro. Las calibraciones del gráfico Langley de la mañana (“am”) y de la tarde (“pm”) se dan por separado. Reproducido de Toledano *et al.* (2018).

Los valores de fondo del AOD (500 nm), en días favorables para las calibraciones Langley, se encuentran en el rango 0,01-0,02 a lo largo del año, con una estacionalidad bien definida que exhibe un máximo primaveral en ambos emplazamientos más un ligero incremento estival en el caso de Izaña. El análisis estadístico de la determinación a largo plazo de señales extraterrestres produce una incertidumbre en la calibración del 0,25 al 0,5 % aproximadamente, siendo esta incertidumbre menor en las longitudes de onda visible e infrarroja cercana y mayor en las longitudes de onda ultravioletas. Ello es debido a la variabilidad atmosférica producida por cambios en varios factores, principalmente el AOD. La incertidumbre no puede reducirse con arreglo únicamente a los criterios de calidad de las gráficas Langley individuales y se demuestra que es posible reducir la incertidumbre a los niveles necesarios para los fotómetros solares de referencia si se realiza un promedio de varios días.

### 9.3.4 Comparación de los radiómetros VAG-PFR y Cimel de AERONET con respecto al espesor óptico de los aerosoles

Se llevó a cabo un completo estudio de comparación de más de 70 000 datos de AOD síncronos de 1 minuto de tres radiómetros de filtro de precisión de la VAG (VAG-PFR), trazables a la referencia mundial de AOD, y 15 radiómetros Cimel de la Red Robótica de Aerosoles (Cimel-AERONET), calibrados individualmente mediante el método de representación gráfica Langley. La comparación se realizó para cuatro longitudes de onda comunes o «cerca», 380, 440, 500 y 870 nm, en el periodo 2005-2015.

El objetivo de este estudio fue evaluar si, a pesar de las marcadas diferencias técnicas entre ambas redes (AERONET y VAG-PFR) y el número de instrumentos utilizados, sus datos a largo plazo de AOD son comparables y coherentes. El porcentaje de datos que cumplen los requisitos de trazabilidad de la OMM (que el 95 % de las diferencias de AOD de un instrumento con respecto a los estándares de la OMM se encuentren dentro de unos límites específicos) fue superior al 92 % a 380 nm, superior al 95 % a 440 nm y 500 nm, y del 98 % a 870 nm (figura 9.13).

Los resultados fueron bastante similares tanto para la versión 2 de AERONET (V2) como para la versión 3 (V3).

En el caso de los datos que se encuentran fuera de estos límites, la contribución de la calibración y las diferencias en el cálculo de la contribución del espesor óptico debido a la dispersión de Rayleigh y a la absorción de  $O_3$  y  $NO_2$  tuvieron un impacto insignificante. Para valores de AOD  $> 0,1$ , un porcentaje pequeño pero no despreciable ( $\sim 1,9\%$ ) de los datos de AOD que caen fuera de los límites de la OMM a 380 nm puede atribuirse en parte al impacto de la dispersión directa de los aerosoles de polvo en el cálculo del AOD debido al diferente campo de visión de los instrumentos. Debido a este efecto, los radiómetros VAG-PFR proporcionan valores de AOD, que son aproximadamente un 3 % más bajos a 380 nm y alrededor de un 2 % más bajos a 500 nm en comparación con los Cimel de la red AERONET. Esta comparación a largo plazo pone de manifiesto la excelente trazabilidad de las mediciones de AOD de los Cimel-AERONET con la referencia mundial de AOD en los canales de 440, 500 y 870 nm y una concordancia bastante buena a 380 nm, aunque el AOD debería mejorarse en el rango ultravioleta.

Si bien los resultados de la intercomparación entre los instrumentos utilizados por las dos redes radiométricas más importantes a nivel mundial para las mediciones de AOD muestran una excelente concordancia, en este estudio se ha realizado un gran esfuerzo por comprender las causas de las diferencias en los valores del AOD. Para ello, se ha llevado a cabo un análisis detallado de casi todos los factores instrumentales y metodológicos que pueden explicar las diferencias en la determinación del AOD por estos dos radiómetros. Por tanto, este estudio constituye una revisión exhaustiva sobre las mediciones del AOD con radiometría solar.

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del Banco de pruebas de Izaña para instrumentos de teledetección de aerosoles y vapor de agua de la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación (CIMO) de la OMM, financiado por AEMET, junto con el Centro Radiométrico Mundial del Observatorio Físico y Meteorológico de Davos (Davos, Suiza), el Instituto Meteorológico Finlandés (Helsinki, Finlandia), el Grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid (Valladolid, España) y Cimel Electronique (París, Francia). Este estudio fue publicado por Cuevas *et al.* (2018) en la fase de discusión de la revista *Atmospheric Measurement Technique*. Durante la redacción de este informe, el artículo fue publicado en su versión final (Cuevas *et al.*, 2019).

Asimismo, en el marco del sistema SDS-WAS de la OMM el CIAI participó en un estudio destinado a evaluar las predicciones de cinco modelos de pronóstico de polvo de última generación durante una intensa irrupción de polvo sahariano que afectó a Europa occidental y septentrional en abril de 2011 (Huneeus *et al.*, 2016). En este estudio se evaluó la capacidad de los modelos para predecir la evolución de la nube de polvo hasta con 72 h de antelación utilizando observaciones de AOD de la red AERONET y el espectrorradiómetro de formación de imágenes de resolución moderada (MODIS) así como las concentraciones de polvo en la superficie observadas por una red de medición terrestre.

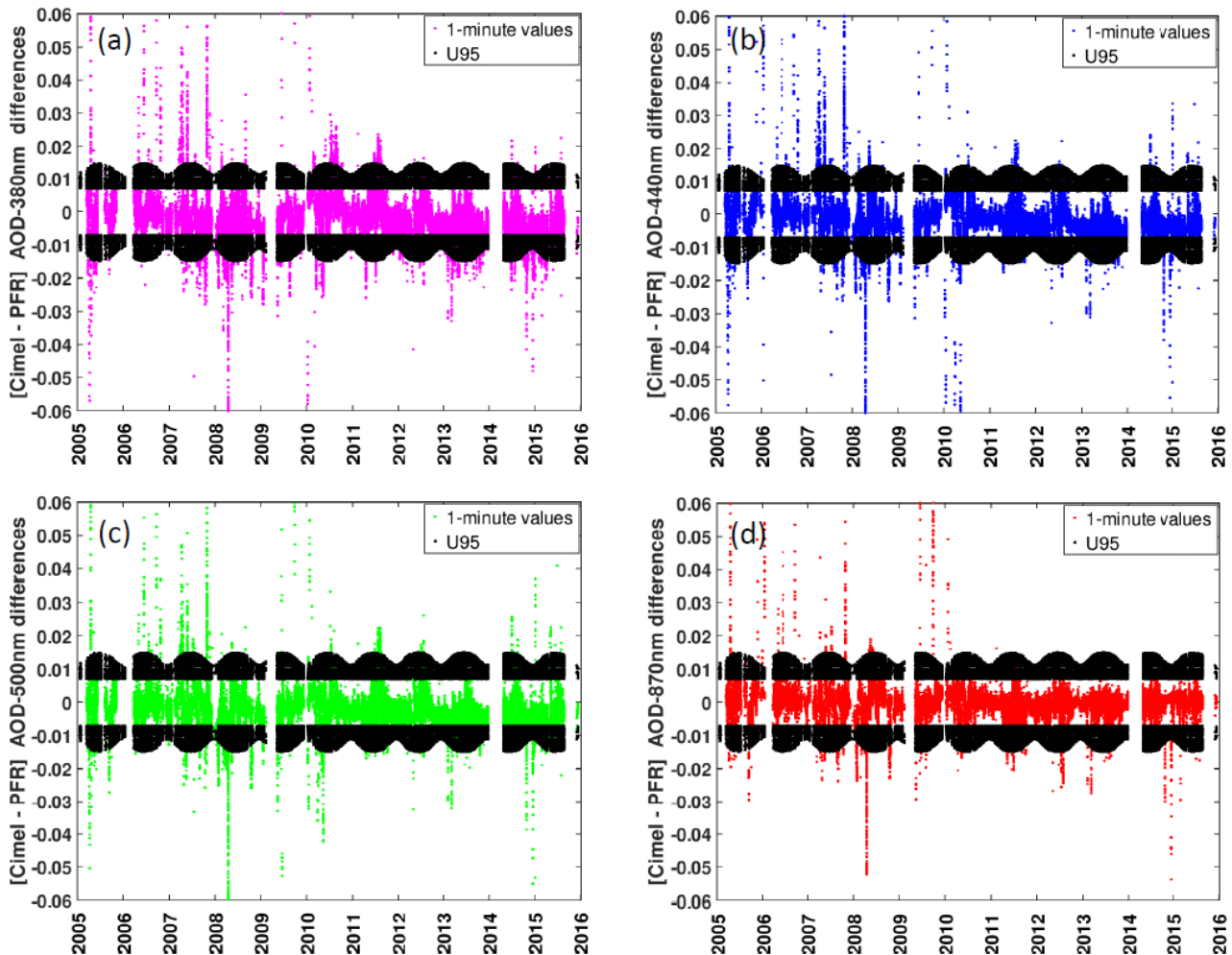


Figura 9.13. Diferencias de datos AOD de 1 minuto entre los radiómetros Cimel-AERONET y VAG-PFR para: a) 380 nm (70 838 pares de datos), b) 440 nm (71 645 pares de datos), c) 500 nm (70 833 pares de datos) y d) 870 nm (71 660 pares de datos) para el periodo 2005-2015. Los puntos negros corresponden a los límites de incertidumbre U95. Algunos valores anómalos están fuera del rango de diferencias de 0,06 AOD. Reproducido de Cuevas *et al.* (2019).

### 9.3.5 Nuevos desarrollos utilizando el algoritmo GRASP

Se ha contribuido a dos nuevos desarrollos para la determinación de las propiedades ópticas de los aerosoles a través del GRASP (algoritmo generalizado de obtención de las propiedades de aerosoles y superficiales) durante el periodo del informe. GRASP es un algoritmo de recuperación de datos de aerosoles de alta precisión que procesa las propiedades de la reflectancia de los aerosoles y de la superficie terrestre. Infiere cerca de 50 parámetros de aerosoles y de superficie, entre los que figuran la distribución de tamaños de las partículas, el índice espectral de refracción, el grado de esfericidad y la absorción.

La primera de las contribuciones realizadas fue la recuperación de las propiedades de los aerosoles (índices de refracción, fracción de partículas esféricas y parámetros de la distribución de tamaños) a partir de medidas normalizadas realizadas con una cámara de todo cielo del almucántar lunar (hasta 20° en acimut desde la Luna) en tres longitudes de onda efectivas de dos imágenes de alto rango dinámico. Las recuperaciones se compararon con los productos AERONET diurnos más cercanos que mostraron una buena concordancia. Estos resultados se han publicado en Roman *et al.* (2017).

La segunda contribución fue proporcionar observaciones lunares a un estudio de evaluación sobre el potencial de utilizar mediciones de AOD para caracterizar las propiedades microfísicas y ópticas de los aerosoles atmosféricos usando el algoritmo GRASP. Este estudio utilizó observaciones de espesor óptico en ocho localizaciones de AERONET para validar los nuevos resultados con los productos de inversión estándar de AERONET. Los autores dedujeron que las distribuciones normales logarítmicas bimodales así obtenidas sirven como hipótesis de partida útiles, especialmente cuando las mediciones tienen una cobertura espectral inadecuada y/o una precisión limitada, como ocurre en la fotometría lunar. Las comparaciones de los radios modales promedio extraídos con el algoritmo GRASP-AOD y AERONET indican que para el modo dominante (fino o grueso) se encontraron diferencias de los radios modales del 10 %, siendo la diferencia promedio en concentración en volumen de aerosol del 17 % para ambos modos. Los valores obtenidos del AOD a 500 nm en el modo fino usando el algoritmo GRASP-AOD son similares a los obtenidos por medio de la inversión estándar de AERONET y los valores obtenidos por el algoritmo de deconvolución espectral de AERONET (SDA), con diferencias típicamente inferiores a 0,02 entre GRASP-AOD y ambos algoritmos.



### 9.3.6 Evaluación de los requisitos de datos de aerosoles para la predicción numérica de aerosoles atmosféricos

La contribución del CIAI al documento de evaluación de Benedetti *et al.* (2018) es importante porque implica formar parte del equipo de investigación, liderado por Copernicus, responsable de identificar los requisitos de datos de aerosoles necesarios para la futura predicción numérica de aerosoles.

La predicción numérica de las propiedades de las partículas de aerosol se ha convertido en una actividad importante en muchos centros meteorológicos operativos y de investigación. Este desarrollo se debe al creciente interés de un conjunto diverso de partes interesadas, como los organismos reguladores de la calidad del aire, las autoridades aeronáuticas y militares, los administradores de plantas de energía solar, los proveedores de servicios climáticos y los profesionales de la salud. Debido a la complejidad de los procesos asociados a los aerosoles atmosféricos y su sensibilidad a las condiciones meteorológicas subyacentes, la predicción de las concentraciones y propiedades de las partículas de aerosol en el marco de la predicción numérica del tiempo se enfrenta a varios desafíos.

Este estudio revisa los requisitos actuales de las observaciones de aerosoles (fig. 9.14) en el contexto de las actividades operativas llevadas a cabo en varios centros mundiales y regionales.

Si bien algunos de los requisitos son igualmente aplicables a la climatología de aerosoles, el enfoque aquí se centra en la predicción operativa global de las propiedades de los aerosoles,

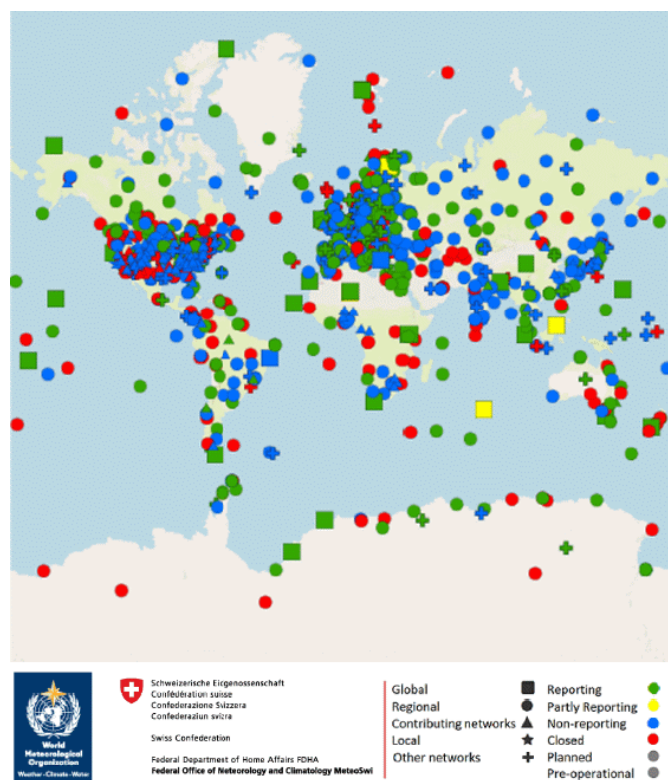


Figura 9.14. Mapa de las estaciones de superficie incluidas actualmente en el sistema GAWSIS. Reproducido de Benedetti *et al.* (2018).

como las concentraciones de masa y los parámetros ópticos. También se reconoce que el término «requisitos» se utiliza en este caso de manera vaga dada la diversidad de los sistemas mundiales de observación de aerosoles y que los datos utilizados normalmente no proceden de fuentes operativas. La mayoría de los modelos operativos se basan en esquemas «masivos» que no predicen la distribución del tamaño de las partículas de aerosol. Otros se basan en una combinación de esquemas «compartimentados» y masivos con capacidad limitada para simular la información de tamaño. Sin embargo, la próxima generación de modelos operativos de aerosoles generará concentraciones de densidad de masa y numéricas para proporcionar una descripción más completa de la población de aerosoles. Se ofrece una breve descripción del estado del conocimiento científico al respecto con una introducción sobre la importancia de las actividades en materia de predicción de aerosoles. También se describen los criterios en los que se basan los requisitos para llevar a cabo las observaciones de aerosoles. Los aspectos de asimilación y evaluación se discuten desde la perspectiva de las necesidades del usuario.

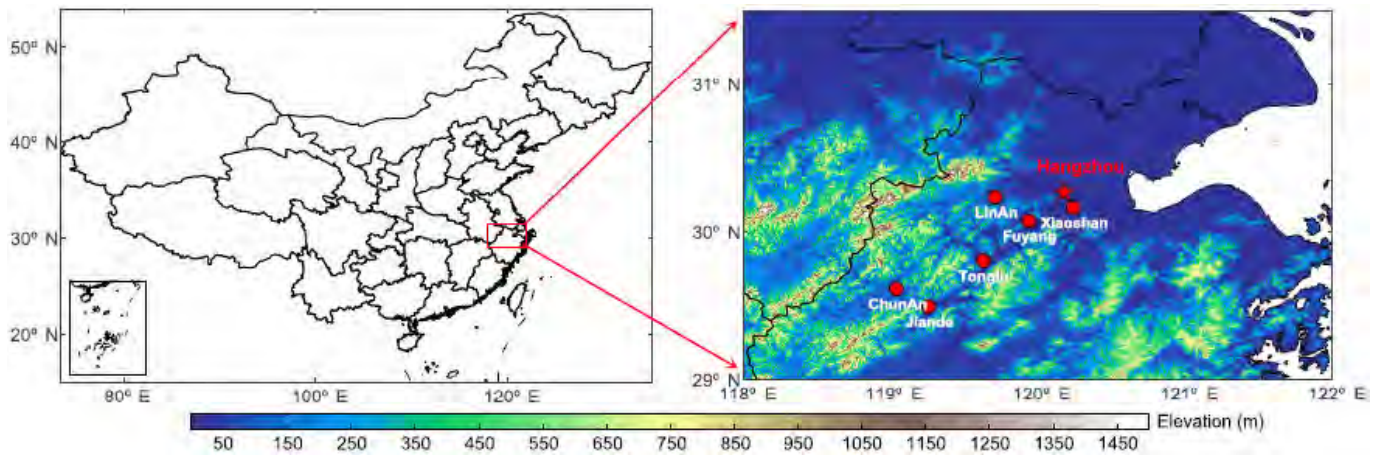
### 9.3.7 Cooperación con la red china CARSNET

La contaminación por aerosoles en el este de China es una consecuencia lamentable del rápido crecimiento económico e industrial de la región. Che *et al.* (2018) publicaron un estudio sobre las mediciones del fotómetro solar Cimel CE318 en siete lugares del delta del río Yangtsé entre 2011 y 2015. Estos instrumentos fueron normalizados y calibrados utilizando instrumentos de referencia de la red CARSNET que, a su vez, fueron calibrados periódicamente en el Observatorio de Izaña en conjunto con el programa AERONET y en el seno del servicio ACTRIS AERONET-Europa.

El estudio caracterizó la climatología de las propiedades microfísicas y ópticas de los aerosoles, calculó el forzamiento radiativo directo de los aerosoles (DARF) y clasificó estos en función del tamaño y la absorción. Se obtuvieron distribuciones bimodales de tamaño durante todo el año, pero en junio y septiembre tuvieron lugar los mayores volúmenes y radios efectivos de partículas de modo fino debido al crecimiento higroscópico y/o a su papel en los procesos de formación de nubes. Los aumentos en las partículas del modo fino en junio y septiembre dieron lugar a valores del AOD a 440 nm superiores a 1,00 en la mayoría de los emplazamientos, y se encontraron valores medios anuales de AOD a 440 nm de 0,71 a 0,76 en sitios urbanos y de 0,68 en entornos rurales. El AOD a 440 nm fue menor en julio y agosto (aproximadamente entre 0,40 y 0,60) que en enero y febrero (entre 0,71 y 0,89) debido a la dispersión de partículas asociada con los anticiclones subtropicales en verano.

Se registraron valores del albedo de dispersión simple (SSA) a 440 nm de 0,91 a 0,94 lo que reveló que las partículas presentan una absorción de relativamente fuerte a moderada. En julio y agosto se encontraron partículas fuertemente absorbentes de la combustión de biomasa con una dependencia significativa del SSA con la longitud de onda en la mayoría de los emplazamientos, mientras que las partículas gruesas de marzo a mayo fueron polvo mineral.

El DARF medio anual fue de  $-93 \pm 44$  a  $-79 \pm 39$   $W m^{-2}$  en la superficie de la Tierra y de alrededor de  $-40$   $W m^{-2}$  en la parte



**Figura 9.15.** Localizaciones y elevaciones de los siete emplazamientos de la red CARSNET en el delta del río Yangtsé. Reproducido de Che *et al.* (2018).

superior de la atmósfera (para el rango de ángulos cenitales solares de 50 a 80°) en condiciones de ausencia de nubosidad. El modo fino supuso una contribución importante de las partículas absorbentes en el esquema de clasificación basado en el SSA, la fracción de modo fino y el exponente de extinción de Ångström. Este estudio contribuye a nuestra comprensión de los aerosoles y de la calidad del aire y el clima a nivel regional, y los resultados serán útiles para validar la información extraída desde plataformas satelitales y para mejorar los modelos climáticos y los algoritmos de teledetección.

## 9.4 Referencias

- Barreto, Á., Román, R., Cuevas, E., Berjón, A. J., Almansa, A. F., Toledano, C., González, R., Hernández, Y., Blarel, L., Goloub, P., Guirado, C. and Yela, M.: Assessment of nocturnal aerosol optical depth from lunar photometry at the Izaña high mountain observatory, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 3007-3019, <https://doi.org/10.5194/amt-10-3007-2017>, 2017.
- Benedetti, A., Reid, J. S., Knippertz, P., Marsham, J. H., Di Giuseppe, F., Rémy, S., Basart, S., Boucher, O., Brooks, I. M., Menut, L., Mona, L., Laj, P., Pappalardo, G., Wiedensohler, A., Baklanov, A., Brooks, M., Colarco, P. R., Cuevas, E., da Silva, A., Escrivano, J., Flemming, J., Huneus, N., Jorba, O., Kazadzis, S., Kinne, S., Popp, T., Quinn, P. K., Sekiyama, T. T., Tanaka, T. and Terradellas, E.: Status and future of numerical atmospheric aerosol prediction with a focus on data requirements, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 10615-10643, <https://doi.org/10.5194/acp-18-10615-2018>, 2018.
- Che, H., Qi, B., Zhao, H., Xia, X., Eck, T. F., Goloub, P., Dubovik, O., Estelles, V., Cuevas-Agulló, E., Blarel, L., Wu, Y., Zhu, J., Du, R., Wang, Y., Wang, H., Gui, K., Yu, J., Zheng, Y., Sun, T., Chen, Q., Shi, G. and Zhang, X.: Aerosol optical properties and direct radiative forcing based on measurements from the China Aerosol Remote Sensing Network (CARSNET) in eastern China, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 405-425, <https://doi.org/10.5194/acp-18-405-2018>, 2018.
- Cuevas, E., Romero-Campos, P. M., Kouremeti, N., Kazadzis, S., García, R. D., Barreto, A., Guirado-Fuentes, C., Ramos, R., Toledano, C., Almansa, F. and Gröbner, J.: Aerosol Optical Depth comparison between GAW-PFR and AERONET-Cimel radiometers from long term (2005–2015) 1-minute synchronous measurements, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/amt-2018-438>, 2018.
- Cuevas, E., Romero-Campos, P. M., Kouremeti, N., Kazadzis, S., Räisänen, P., García, R. D., Barreto, A., Guirado-Fuentes, C., Ramos, R., Toledano, C., Almansa, F. and Gröbner, J.: Aerosol optical depth comparison between GAW-PFR and AERONET-Cimel radiometers from long-term (2005–2015) 1 min synchronous measurements, *Atmos. Meas. Tech.*, 12, 4309-4337, <https://doi.org/10.5194/amt-12-4309-2019>, 2019.
- García, R. D., García, O. E., Cuevas, E., Cachorro, V. E., Barreto, A., Guirado-Fuentes, C., Kouremeti, N., Bustos, J. J., Romero-Campos, P. M. and de Frutos, A. M.: Aerosol optical depth retrievals at the Izaña Atmospheric Observatory from 1941 to 2013 by using artificial neural networks, *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 53-62, <https://doi.org/10.5194/amt-9-53-2016>, 2016.
- García, R. D., O. E. García, E. Cuevas and J. J. Bustos: Long-term aerosol optical depth (1941-2017) at the Izaña Observatory. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.
- Kazadzis, S., Kouremeti, N., Diémoz, H., Gröbner, J., Forgan, B. W., Campanelli, M., Estellés, V., Lantz, K., Michalsky, J., Carlund, T., Cuevas, E., Toledano, C., Becker, R., Nyeki, S., Kosmopoulos, P. G., Tatsiankou, V., Vuilleumier, L., Denn, F. M., Ohkawara, N., Ijima, O., Goloub, P., Raptis, P. I., Milner, M., Behrens, K., Barreto, A., Martucci, G., Hall, E., Wendell, J., Fabbri, B. E., and Wehrli, C.: Results from the Fourth WMO Filter Radiometer Comparison for aerosol optical depth measurements, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 3185-3201, <https://doi.org/10.5194/acp-18-3185-2018>, 2018.
- Román, R., B. Torres, D. Fuertes, V. E. Cachorro, O. Dubovik, C. Toledano, A. Cazorla, A. Barreto, J. L. Bosch, T. Lapyonok, R. González, P. Goloub, M. R. Perrone, F. J. Olmo, A. de Frutos, L. Alados-Arboledas: Remote sensing of lunar aureole with a sky camera: Adding information in the nocturnal retrieval of aerosol properties with GRASP code, *Remote Sensing of Environment*, 196, 238-252, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.05.013>, 2017.
- Toledano, C., González, R., Fuertes, D., Cuevas, E., Eck, T. F., Kazadzis, S., Kouremeti, N., Gröbner, J., Goloub, P., Blarel, L., Román, R., Barreto, Á., Berjón, A., Holben, B. N. and Cachorro, V. E.: Assessment of Sun photometer Langley calibration at the high-elevation sites Mauna Loa and Izaña, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 14555-14567, <https://doi.org/10.5194/acp-18-14555-2018>, 2018.
- Torres, B., Dubovik, O., Fuertes, D., Schuster, G., Cachorro, V. E., Lapyonok, T., Goloub, P., Blarel, L., Barreto, A., Mallet, M., Toledano, C. and Tanré, D.: Advanced characterization of aerosol

properties from measurements of spectral optical depth using the GRASP algorithm. Atmos. Meas. Tech., 10, 3743-3781. <https://www.atmos-meas-tech.net/10/3743/2017/>, 2017.

## 9.5 Personal

Dr. Emilio Cuevas (AEMET; jefe del programa);  
Dra. Carmen Guirado Fuentes (UVA/AEMET; investigadora científica), dejó el CIAI en septiembre de 2019;  
Dra Yballa Hernández-Pérez (AEMET; investigadora científica), dejó el CIAI en noviembre de 2018;  
Pedro Miguel Romero (AEMET; investigador científico);

Ramón Ramos (AEMET; jefe de infraestructuras);  
Dra. África Barreto (CIMEL; investigadora científica);  
Dra. Rosa García (Air Liquide; investigadora científica);  
Dr. Alberto Berjón (AEMET; investigador científico);  
Dr. Sergio Fabián León Luis (AEMET; investigador científico);  
Dra. Omaira García (AEMET; investigadora científica);  
Fernando Almansa (CIMEL/UVA; investigador científico);  
Dra. Victoria Cachorro (Universidad de Valladolid; jefa del Grupo de Óptica Atmosférica);  
Dr. Ángel de Frutos (Universidad de Valladolid, Grupo de Óptica Atmosférica; investigador científico);  
Dra. Margarita Yela (INTA; coinvestigadora principal en el sub-programa de MPL).



## 10 Radiación

El programa de radiación, y en concreto la implementación de su componente central, el programa BSRN (*Baseline Surface Radiation Network*), se ha realizado en estrecha colaboración con el Grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid.

### 10.1 Principales objetivos científicos

Los principales objetivos científicos de este programa son:

- Realizar mediciones de alta calidad de los parámetros de radiación.
- Investigar las variaciones del balance de radiación solar y otros parámetros relacionados con la energía solar en las tres estaciones de radiación gestionadas por el CIAI.
- Estudiar el forzamiento radiativo de los aerosoles con especial atención al papel que juega el polvo aprovechando la situación privilegiada de las islas Canarias para analizar las intrusiones de polvo sobre el Atlántico Norte y la singular red local de radiación con estaciones a diferentes altitudes (desde el nivel del mar hasta 3555 m s.n.m.).
- Recuperar, digitalizar y analizar datos históricos de radiación para reconstruir series de radiación de largo plazo que permitan la realización de estudios precisos sobre el oscurecimiento y brillo del cielo, y relacionar la radiación con la nubosidad y el flujo solar.
- Realizar la caracterización espectral de la radiación solar: evaluar los impactos de los diferentes tipos de nubes, los aerosoles (especialmente los polvos de origen mineral) y el vapor de agua precipitable.

### 10.2 Programa de mediciones

Desde 1916 se dispone de los registros de radiación directa de un pirheliómetro de disco de plata Abbot, aunque esta información aún no ha sido analizada. Desde 1977 existen bandas con registros de radiación global medidos con un piranógrafo bimetálico. Esta información ha sido digitalizada, recalibrada y procesada. Los resultados muestran una excelente concordancia entre el piranógrafo bimetálico y el piranómetro CM21 de la red BSRN, que permitió la reconstrucción satisfactoria de la serie temporal con los datos de radiación global (desde 1977), tras un análisis cuidadoso de los datos históricos (figura 10.1).

Las mediciones de radiación global y directa se iniciaron en 1992 como parte de un proyecto de radiación solar del Gobierno de Canarias. En 2005, el IZO se incorporó a la red de radiación española gestionada por el Centro Radiométrico Nacional (CRN) de AEMET. Desde 2009, el IZO pertenece a la red BSRN que proporciona el conjunto básico de parámetros de radiación. Además, otros parámetros, entre los que figuran la radiación ascendente de onda corta y de onda larga, y las radiaciones UV-A y UV-B, también se miden dentro del programa de la red BSRN. Posteriormente, se ejecutaron algunas mediciones básicas de radiación en las otras tres estaciones del CIAI (SCO, TPO y BTO).

Las mediciones de radiación se comparan frente a límites físicamente posibles y extremadamente raros a nivel mundial, conforme al procedimiento definido y utilizado en el control de calidad de datos recomendado por la red BSRN. Las mediciones de la radiación descendente de onda corta (SDR) se comparan diariamente con simulaciones de la misma, que se modelan con el modelo LibRadtran. Esta información se ha desarrollado y compartido en la página web <http://bsrn.aemet.es/>, donde se muestran las mediciones en tiempo real de la radiación global, directa, difusa y UV-B.

En 2016 comenzaron a realizarse las mediciones de radiación solar directa espectral (irradiancia normal directa espectral) con un espectrorradiómetro EKO MS-711 (fig. 10.2). Este instrumento cubre un rango de longitudes de onda de 300 a 1100 nm, exhibiendo una anchura a media altura, FWHM < 7 nm. Está equipado con su propia óptica de entrada incorporada, y la carcasa está estabilizada en temperatura a  $25^\circ \pm 5^\circ$  (Egli *et al.*, 2016). En la tabla 10.1 se relacionan las principales características del EKO MS-711.

El espectrorradiómetro EKO MS-711 se ha montado sobre un seguidor solar Owel INTRA 3 (fig. 10.2), un seguidor inteligente que combina las ventajas de la operación de seguimiento automático (la alineación automática con el sistema de coordenadas astronómicas continúa después de unos días), y el seguimiento controlado de manera activa (un sensor solar de 4 cuadrantes). Está construido para su utilización en unas condiciones meteorológicas extremas; su rango de temperatura operativa se encuentra entre  $-20$  y  $+50$  °C.

**Tabla 10.1. Especificaciones principales del espectrorradiómetro EKO MS-711.**

Espectrorradiómetro EKO MS-711	
Rango de longitud de onda	300 a 1100 nm
Intervalo de longitud de onda	0,3 a 0,5 nm
Resolución óptica FWHM	< 7 nm
Exactitud de longitud de onda	+/- 0,2 nm
Respuesta coseno (zenit: 0 ~ 80 °)	< 5 %
Dependencia de la temperatura (-10 °C a 50 °C)	< 2 %
Control de temperatura	25 °C ± 2 °C
Temperatura de funcionamiento	-10 °C a 50 °C
Tiempo de exposición	10 ms a 5 s (ajuste automático)
Material de la cúpula	Vidrio de cuarzo sintético
Comunicación	RS-422 (entre sensor y fuente de alimentación)
Requisitos de energía	DC 12 V, 50 VA (desde la fuente de alimentación)

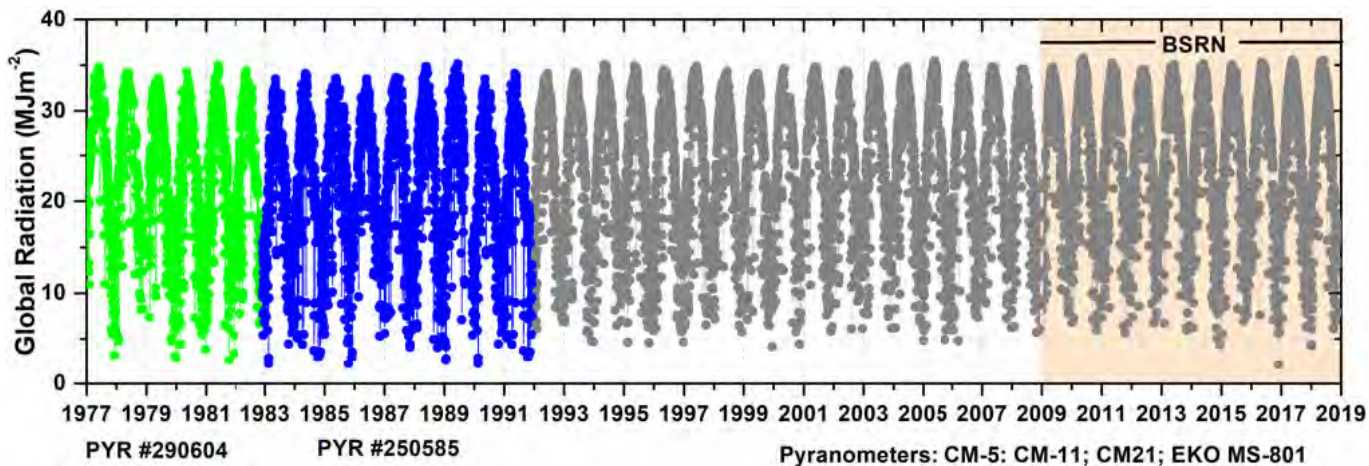


Figura 10.1. Serie temporal de radiación solar global diaria entre 1977 y 2018 en el IZO. Los puntos verdes y azules corresponden a las mediciones realizadas con los instrumentos PYR #290609 y #250585, respectivamente, entre 1977 y 1991, y los puntos grises representan las mediciones efectuadas con diferentes piranómetros (CM-5, CM-11, CM-21 y EKO MS-801) entre 1992 y 2018 (García *et al.*, 2014, 2017).

Puede soportar unos 50 kg de una carga cuidadosamente equilibrada. Los motores del seguidor llevan una grasa especial que permite su utilización en condiciones de baja temperatura. La unidad de accionamiento tiene una rotación azimutal superior a los 360° y vuelve a la posición de inicio (mañana) a la medianoche correspondiente. La unidad de accionamiento tiene una rotación cenital superior a los 90°. La unidad tiene una resolución angular  $\leq 0,1^\circ$ , una repetibilidad angular de  $\leq \pm 0,05^\circ$  y una velocidad angular  $\geq 1,5^\circ/s$  en los ejes de salida. La velocidad máxima es de 2,42 °/s.

La transmisión atmosférica es un producto que se puso en marcha en 2014 y que se ha procesado de forma retrospectiva hasta 2009. Se ha actualizado hasta el 31 de diciembre de 2018 (fig. 10.3) y está disponible en la página web de la estación BSRN del IZO. La transmisión atmosférica se obtiene a partir de las observaciones BSRN de la irradiancia solar directa de

banda ancha (0,2 a 4,0  $\mu\text{m}$ ). Los datos corresponden a elevaciones solares de 11,3° a 30° medidos en mañanas con cielo despejado.

Como datos auxiliares y/o como información de entrada en las simulaciones del modelo LibRadtran se utilizan las imágenes del cielo tomadas con las cámaras de todo cielo SONA en el IZO y el SCO, los perfiles verticales meteorológicos facilitados por las radiosondas, los valores de AOD y AE obtenidos por medio de los fotómetros solares Cimel y PFR, el vapor de agua en columna proporcionado por Cimel y GPS/GLONASS, la columna de NO<sub>2</sub> determinada por DOAS y el O<sub>3</sub> total medido por el espectrofotómetro Brewer.

En la tabla 10.2 se resume el programa de mediciones de radiación gestionado por el CIAI.



Figura 10.2. El espectrorradiómetro EKO MS-711 instalado en el IZO.

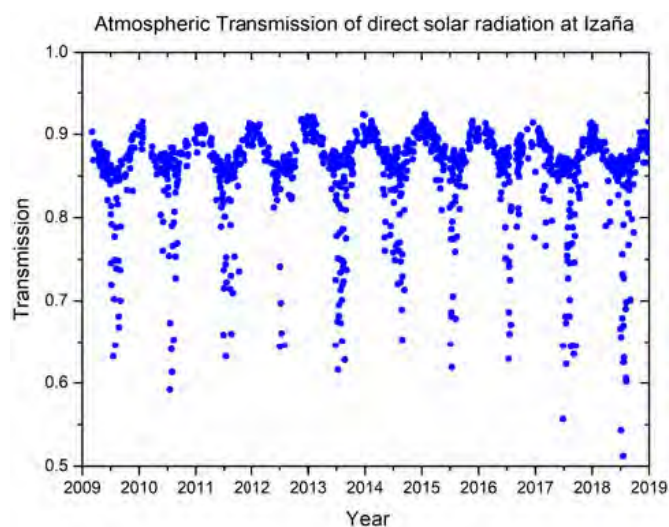


Figura 10.3. Datos de transmisión atmosférica diaria (2009-2018) en el IZO calculados en mañanas con cielo despejado entre elevaciones solares de 11,3° y 30°.

**Tabla 10.2. Detalles del programa de mediciones de la radiación en el CIAI.**

Instrumento	Mediciones	Rango espectral
<b>Registros históricos de Izaña (2373 m s.n.m.). Fecha de inicio: diferentes fechas</b>		
Pirheliómetro de disco de plata de Abbot	Radiación directa (1916)	~0,3 a ~3,0 $\mu\text{m}$
Piranógrafo bimetalico (analógico)	Radiación global (enero de 1977)	~0,3 a ~3,0 $\mu\text{m}$
Radiómetro de filtros múltiples con banda de sombra giratoria (MFRSR) Yes	Radiación global, difusa y directa estimada (febrero de 1996)	300-1200 nm
Piranómetro K&Z CM5	Radiación global (enero de 1992)	310-2800 nm
<b>Estación BSRN de Izaña (2373 m s.n.m.). Fecha de inicio: marzo de 2009</b>		
Piranómetro K&Z CM-21, EKO MS-801	Radiación global y difusa	285-2600 nm
Pirheliómetro K&Z CH-1, EKO MS-56	Radiación directa	200-4000 nm
Pirogeómetro K&Z CG-4	Radiación descendente de onda larga	4500-42 000 nm
Radiómetro neto, EKO MR-60	Radiación neta	
Piranómetro K&Z UV-A-S-T	Radiación UV-A	315-400 nm
Piranómetro Yankee Yes UVB-1	Radiación UV-B	280-400 nm
Pirheliómetro de cavidad absoluta PMO6	Radiación directa	-
Espectrorradiómetro EKO MS-711	Radiación directa espectral	300-1100 nm
<b>Estación del Centro Radiométrico Nacional (CRN) de Izaña (2373 m s.n.m.). Fecha de inicio: agosto de 2005</b>		
Piranómetro K&Z CM-21	Radiación global y difusa	285-2600 nm
Pirheliómetro K&Z CH-1	Radiación directa	200-4000 nm
Pirogeómetro K&Z CG-4	Radiación descendente de onda larga	4500-42 000 nm
Piranómetro Yankee Yes UVB-1	Radiación UV-B	280-400 nm
Piranómetro K&Z PQS1	Radiación activa de fotosíntesis (PAR)	400-700 nm
<b>SCO (52 m s.n.m.). Fecha de inicio: febrero de 2006</b>		
Piranómetro K&Z CM-11	Radiación global y difusa	310-2800 nm
Pirheliómetro Eply	Radiación directa	200-4000 nm
<b>BTO (114 m s.n.m.). Fecha de inicio: 2009</b>		
Piranómetro K&Z CM-11	Radiación global y difusa	310-2800 nm
<b>TPO (3555 m s.n.m.). Fecha de inicio: julio de 2012</b>		
Piranómetro K&Z CM-11, CM-21	Radiación global y difusa	310-2800 nm
Piranómetro Yankee Yes UVB-1	Radiación UV-B	280-400 nm



### 10.3 Resumen de los resultados más destacados durante el periodo 2017-2018

#### 10.3.1 Comparación de la radiación descendente de onda larga observada y modelada en condiciones de ausencia de nubosidad (2010-2016) en la estación BSRN de alta montaña de Izaña

En el IZO se realizó un estudio de comparación de un periodo de 7 años (2010-2016) entre la radiación descendente de onda larga (LDR) medida y simulada en condiciones de ausencia de nubosidad, que fue publicado por García *et al.* (2018). Este análisis abarca un total de 2062 casos distribuidos aproximadamente de forma uniforme entre el día y la noche (figura 10.4).

Los resultados ponen de manifiesto que existe una excelente concordancia entre las mediciones de la Red de referencia para la medición de radiaciones en superficie (BSRN) y las simulaciones realizadas con los modelos de transferencia radiativa (RTM) LibRadtran V2.0.1 y el modelo de transmisión atmosférica de resolución moderada (MODTRAN) V6 (tabla 10.3). El sesgo medio (simulado-medido) es  $< 1,1\%$  y la media cuadrática del

sesgo (RMS) es  $< 1\%$ , que se encuentran dentro del error instrumental ( $2\%$ ). Estos resultados destacan la buena concordancia entre los dos RTM, demostrando ser herramientas útiles para llevar a cabo el control de calidad de las observaciones de la LDR y para detectar desviaciones temporales en los instrumentos de campo. Las desviaciones típicas de los residuos, asociadas a las incertidumbres de los parámetros de entrada en los RTM, son bastante pequeñas,  $0,47$  y  $0,49\%$  para el LibRadtran y el MODTRAN, respectivamente, durante el día, y  $0,49$  a  $0,51\%$  durante la noche.

Para el vapor de agua precipitable (PWV)  $> 10$  mm, la diferencia nocturna observada entre los modelos y las mediciones es de  $+5$   $W m^{-2}$ , lo que indica un cambio de escala del Grupo mundial de pirogeómetros estándar de observación en el infrarrojo (WISG), que sirve como referencia para las mediciones de la radiación atmosférica de onda larga. Los resultados preliminares sugieren un posible impacto del aerosol de polvo en la radiación infrarroja durante el día que podría no estar parametrizado correctamente por los modelos, lo que da lugar a una ligera subestimación del LDR modelado, de aproximadamente  $-3$   $W m^{-2}$ , para un espesor óptico de los aerosoles relativamente alto (AOD  $> 0,20$ ) (figura 10.5).

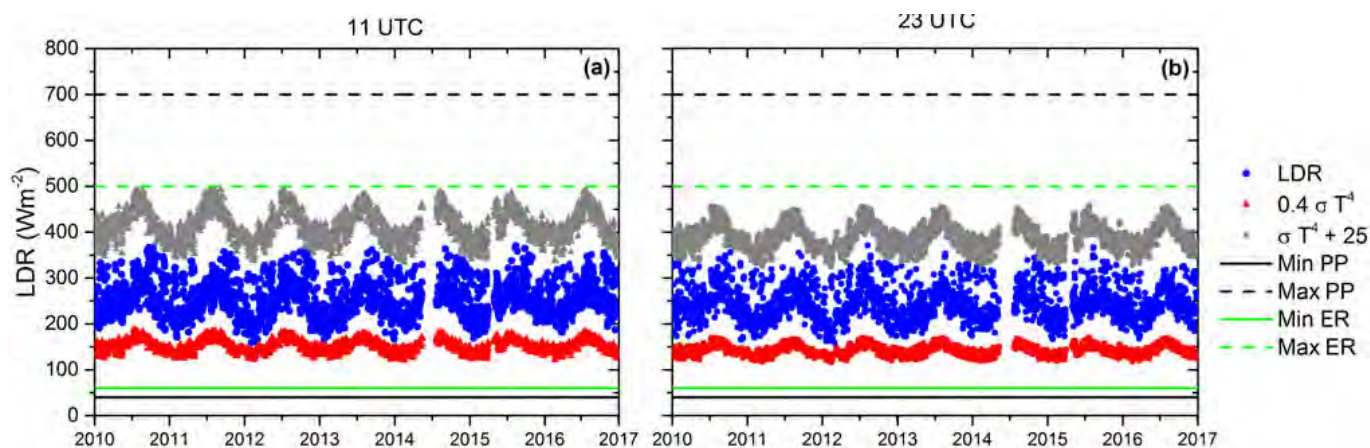


Figura 10.4. Serie temporal de radiación descendente de onda larga (LDR) obtenida: a) por el día y b) por la noche con un pirogeómetro CG4 entre 2010 y 2016 en la estación BSRN del IZO (puntos azules). Las líneas negras y verdes representan los límites físicamente posibles (Min PP, Max PP) y extremadamente raros (Min ER, Max ER), respectivamente; los puntos grises y rojos representan los límites superior ( $\sigma T^4 + 25$ ) e inferior ( $0,4\sigma T^4$ ), respectivamente, donde  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$ ) y  $T$  es la temperatura del aire en K. Reproducido de García *et al.* (2018).

Tabla 10.3. Estadísticos del sesgo de la LDR entre las simulaciones de los modelos LibRadtran y MODTRAN y la LDR medida en la estación BSRN del IZO (en  $W m^{-2}$ ) realizados con datos diurnos (1048 casos) y nocturnos (1014 casos) durante el periodo 2010-2016 (MB, sesgo medio; RMS, media cuadrática del sesgo;  $R^2$ ).

Los estadísticos del sesgo relativo se dan entre paréntesis (en %).

	Por el día			Por la noche		
	MB	RMS	$R^2$	MB	RMS	$R^2$
BSRN/LibRadtran	-1,73 (-1,1 %)	6,52 (2,6 %)	0,970	0,15 (0,1 %)	4,41 (1,8 %)	0,969
BSRN/MODTRAN	-1,79 (-0,7 %)	6,30 (2,5 %)	0,969	1,14 (0,5 %)	4,53 (1,9 %)	0,968
LibRadtran/MODTRAN	0,94 (0,4 %)	1,26 (0,5 %)	0,999	1,00 (0,4 %)	1,23 (0,5 %)	0,999

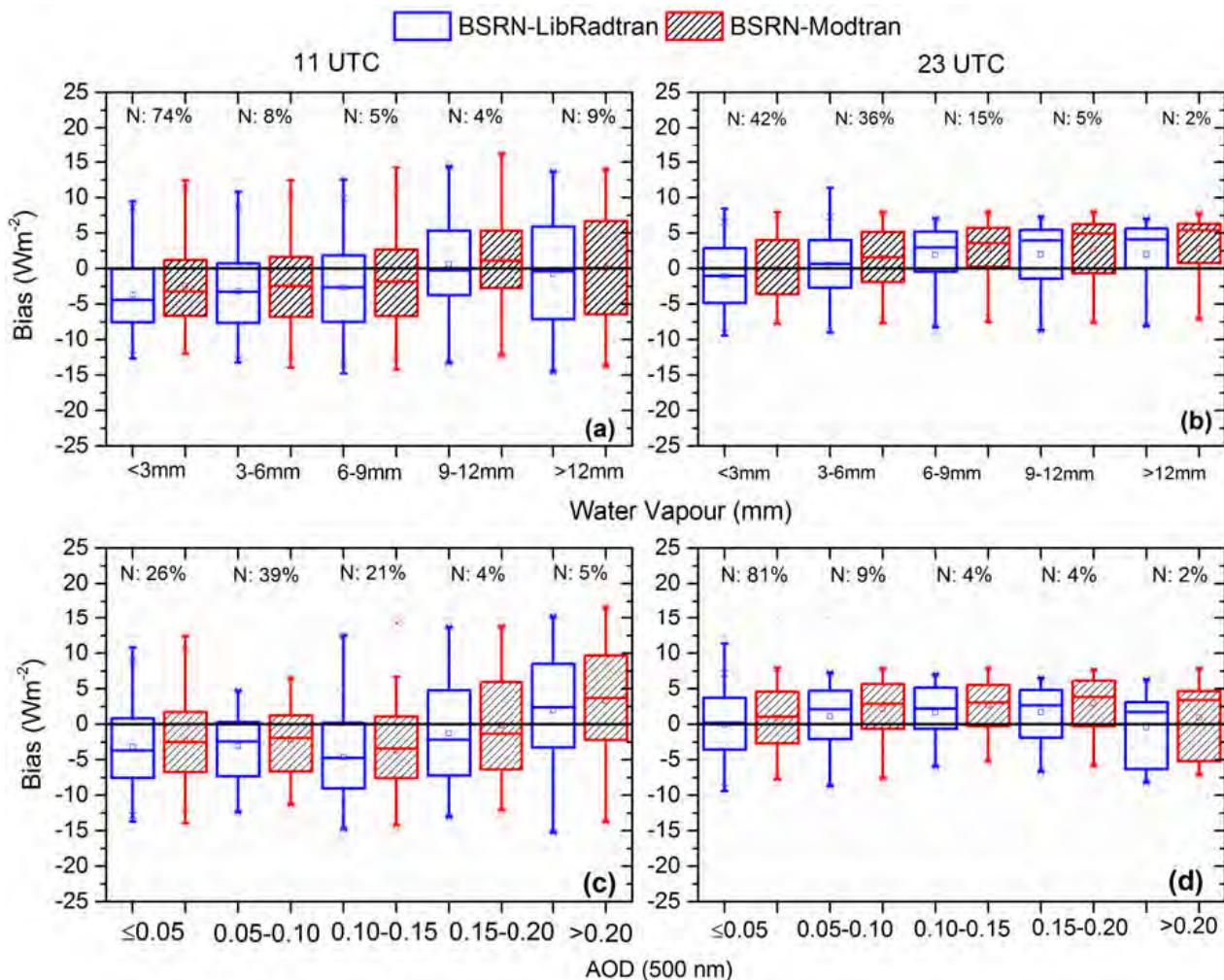


Figura 10.5. Diagrama de barras correspondiente al periodo 2010-2016 del sesgo medio de LDR (modelo-BSRN en  $W m^{-2}$ ) frente al PWV (mm): a) durante el día y b) por la noche; y frente al AOD (500 nm): c) durante el día y d) por la noche. Los límites inferior y superior de cada barra son los percentiles 25 y 75; la línea continua es el valor de la mediana; las cruces señalan valores fuera del área de la barra en 1,5 veces (valores atípicos) y los guiones son los valores máximo y mínimo. Las barras azules representan LibRadtran/BSRN y las rojas representan MODTRAN/BSRN. N indica el número de mediciones en cada intervalo. Los sombreados muestran el rango de error instrumental ( $\pm 3 W m^{-2}$ ). Reproducido de García *et al.* (2018).

### 10.3.2 Descripción de la estación de la Red de referencia para la medición de radiaciones en superficie (BSRN) del Observatorio de Izaña (2009-2017)

En García *et al.* (2019) se ha publicado una descripción de la estación de la Red de referencia para la medición de radiaciones en superficie en el Observatorio de Izaña, así como de las mediciones realizadas y de los procedimientos de control y aseguramiento de la calidad llevados a cabo.

Como se comenta en la sección 10.2, el Observatorio de Izaña forma parte de la red BSRN desde 2009. En la figura 10.6 se muestra la localización de la estación de Izaña en un mapa mundial con todas las estaciones de la BSRN, junto con las vistas de la estación.

El Observatorio de Izaña contribuye con mediciones básicas de radiación de la BSRN, tales como la radiación global de onda corta (SWD), la radiación directa (DIR), la radiación difusa (DIF) y la radiación descendente de onda larga (LWD) y también con mediciones de la BSRN ampliadas, entre las que figuran los

rangos ultravioleta (UV-A y UV-B), la radiación ascendente de onda corta (SWU) y la radiación ascendente de onda larga (LWU) así como otras mediciones auxiliares, como los perfiles verticales de temperatura, humedad y viento obtenidos a partir de radiosondas (estación OMM # 60018) y la columna total de ozono medida con el espectrofotómetro Brewer.

Las mediciones del Observatorio de Izaña presentan altos estándares de calidad ya que más del 98 % de los datos se encuentran dentro de los límites recomendados por la BSRN. Existe una excelente concordancia en la comparación entre las mediciones de SWD, DIR y DIF (instantáneas y diarias) con las simulaciones obtenidas con el modelo de transferencia radiativa LibRadtran. El error cuadrático medio (RMSE) para la SWD es del 2,28 % para valores instantáneos y del 1,58 % para valores diarios, mientras que el RMSE para la DIR es del 2,00 % para valores instantáneos y del 2,07 % para valores diarios (fig. 10.7). El Observatorio de Izaña es una estación única que proporciona datos de radiación solar muy exactos en escenarios muy contrastados: la mayor parte del tiempo en condiciones de cielo despejado, y periódicamente bajo los efectos de la capa de aire sahariana caracterizada por un alto contenido de polvo mineral.



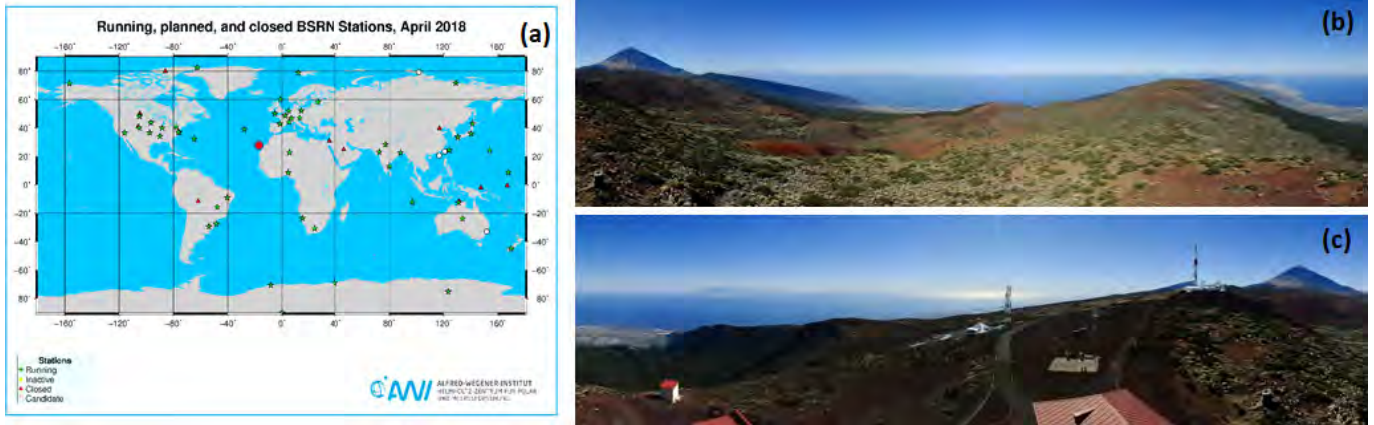


Figura 10.6. a) Situación de la estación de Izaña (IZO) en un mapa mundial con todas las estaciones de la red BSRN (<http://bsrn.awi.de>). Vistas de la estación de radiación de Izaña: b) vistas norte y este (azimut 360°, inclinación 0°; azimut 90°, inclinación 0° respectivamente). c) Vistas sur y oeste (azimut 180°, inclinación 0° y azimut 270°, inclinación 0°, respectivamente). Reimpreso de García *et al.* (2019).

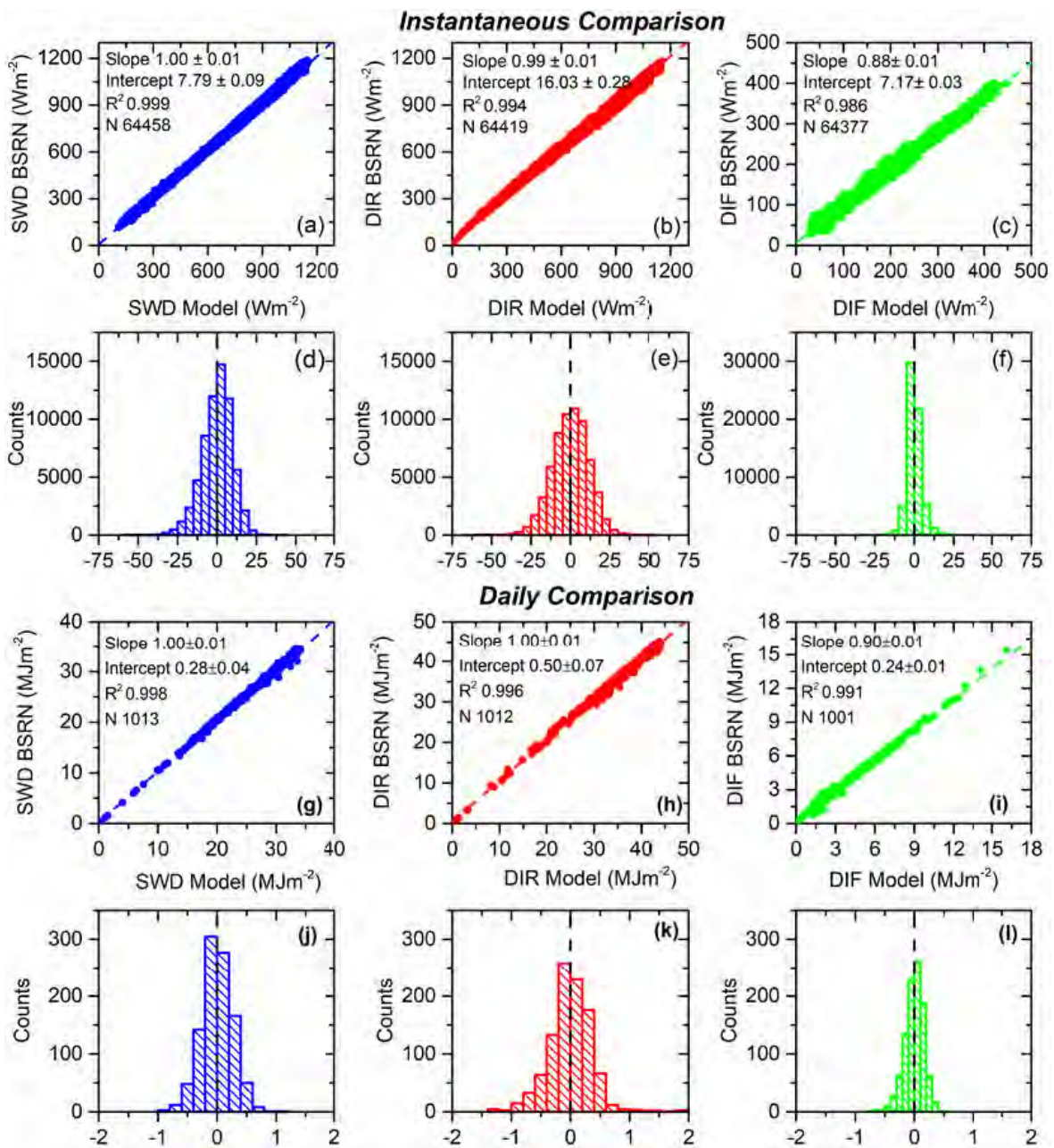


Figura 10.7. Diagramas de dispersión e histogramas de las mediciones y simulaciones de radiación instantánea ( $W m^{-2}$ ) y diaria ( $MJ m^{-2}$ ) para el periodo 2009-2017: (a, d, g, j) SWD, (b, e, h, k) DIR y (c, f, i, l) DIF. Los parámetros de ajuste se muestran en la leyenda. Reimpreso de García *et al.* (2019).



## 10.4 Participación en proyectos y en estudios y experimentos científicos

### 10.4.1 Campaña de calibración de instrumentos de la red BSRN con un pirheliómetro de cavidad absoluta PMO6

Como parte del sistema del control de calidad en las medidas de radiación, durante los veranos de 2017 y 2018 se llevó a cabo una campaña de calibración de piranómetros y pirheliómetros de la BSRN utilizando el pirheliómetro de cavidad absoluta PMO6 como referencia (fig. 10.8), calibrado en el Centro Radiométrico Mundial de Davos. Los instrumentos de la BSRN fueron calibrados siguiendo las normas ISO 9059:1990 (E) e ISO 9846:1993 (E), entregándose los correspondientes certificados oficiales de calibración.



**Figura 10.8.** Radiómetro de cavidad absoluta (PMO6) instalado en el IZO durante los veranos de 2017 y 2018 en el seguidor solar de la red BSRN.

## 10.5 Actividades futuras

Las principales actividades en curso y futuras del programa de radiación se centran en:

- Recuperaciones de datos de aerosoles a partir de la irradiancia directa espectral medida con el espectrorradiómetro EKO MS-711. Correcciones del campo de visión.

- Recuperación de datos de vapor de agua y ozono en columna utilizando el espectrorradiómetro EKO MS-711.
- Reconstrucción y análisis preciso de una nueva serie larga de datos de radiación global (desde 1916) en la que se están incorporando los datos de observación recién recuperados. Los registros de AOD, nubosidad y flujo solar se compararán con los datos de radiación global.
- Determinación exacta del impacto de la atenuación de las nubes en la radiación global utilizando las mediciones de radiación global del SCO y del BTO.
- Análisis preciso de los datos de banda ancha UV-B del perfil vertical formado por los observatorios del SCO (52 m s.n.m.), el IZO (2373 m s.n.m.) y el TPO (3555 m s.n.m.), con información complementaria sobre nubosidad, AOD y perfiles verticales de O<sub>3</sub> (sondas de O<sub>3</sub> ECC).

## 10.6 Referencias

- Egli, L., Gröbner, J., Hülsen, G., Bachmann, L., Blumthaler, M., Dubard, J., Khazova, M., Kift, R., Hoogendijk, K., Serrano, A., Smedley, A. and Vilaplana, J.-M.: Quality assessment of solar UV irradiance measured with array spectroradiometers, *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 1553-1567, doi:10.5194/amt-9-1553-2016, 2016.
- García, R. D., Cuevas, E., García, O. E., Cachorro, V. E., Pallé, P., Bustos, J. J., Romero-Campos, P. M. and de Frutos, A. M.: Reconstruction of global solar radiation time series from 1933 to 2013 at the Izaña Atmospheric Observatory, *Atmos. Meas. Tech.*, 7, 3139-3150, doi:10.5194/amt-7-3139-2014, 2014.
- García, R. D., Cuevas, E., García, O. E., Ramón, R., Romero-Campos, P. M., de Ory, F., Cachorro, V. E. and de Frutos, A.: Compatibility of different measurement techniques. Long-term global solar radiation observations at Izaña Observatory, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 731-743, doi:10.5194/amt-10-731-2017, 2017.
- García, R. D., Barreto, A., Cuevas, E., Gröbner, J., García, O. E., Gómez-Peláez, A., Romero-Campos, P. M., Redondas, A., Cachorro, V. E. and Ramos, R.: Comparison of observed and modeled cloud-free longwave downward radiation (2010-2016) at the high mountain BSRN Izaña station, *Geosci. Model Dev.*, 11, 2139-2152, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-2139-2018>, 2018.
- García, R. D., Cuevas, E., Ramos, R., Cachorro, V. E., Redondas, A., and Moreno-Ruiz, J. A.: Description of the Baseline Surface Radiation Network (BSRN) station at the Izaña Observatory (2009-2017): measurements and quality control/assurance procedures, *Geosci. Instrum. Method. Data Syst.*, 8, 77-96, <https://doi.org/10.5194/gi-8-77-2019>, 2019.

## 10.7 Personal

- Dr. Emilio Cuevas (AEMET; jefe del programa);  
Dra. Rosa García (Air Liquide/UVA; coinvestigadora principal);  
Ramón Ramos (AEMET; jefe de infraestructuras);  
Dra. Omaira García (AEMET; investigadora científica);  
Pedro Miguel Romero (AEMET; investigador científico);  
Dr. Fernando de Ory (AEMET; observador meteorológico y técnico de la VAG), dejó el CIAI en octubre de 2018;  
Dra. Victoria Cachorro (Universidad de Valladolid; jefa del Grupo de Óptica Atmosférica);  
Dr. Ángel de Frutos (Universidad de Valladolid, Grupo de Óptica Atmosférica; investigador científico).

# 11 Espectroscopía de absorción óptica diferencial (DOAS)

## 11.1 Principales objetivos científicos

Las técnicas de espectroscopía de absorción óptica diferencial (DOAS) y de espectroscopía multiaxial de absorción óptica diferencial (MAXDOAS) permiten determinar los gases traza atmosféricos presentes en concentraciones muy bajas. El seguimiento a largo plazo de los gases traza atmosféricos tiene un gran interés para los estudios de tendencias y de validación de datos de satélites. La detección de gases mediante las técnicas DOAS o MAXDOAS facilita el estudio de la interacción mutua entre los gases incluso cuando los límites de detección de los mismos son bajos.

Los principales objetivos científicos de los programas DOAS y MAXDOAS son:

- Mejorar el conocimiento de la distribución, el comportamiento estacional y las tendencias a largo plazo de los componentes menores relacionados con el equilibrio del ozono como el  $\text{NO}_2$ , el BrO y el IO, y su distribución en la atmósfera subtropical.
- Obtener una climatología del  $\text{NO}_2$  y el BrO estratosféricos en las regiones subtropicales y su dependencia con las variables ambientales y climáticas.
- Estudiar la variación estacional del  $\text{NO}_2$ , el  $\text{O}_3$ , el formaldehído (HCHO) y el IO en la troposfera libre y su interacción con factores ambientales como el polvo sahariano entre otros.
- Contribuir a validar los productos satelitales de  $\text{NO}_2$  y ozono (GOME, GOME2, SCIAMACHY, OMI, TROPOMI) y a mejorar la metodología para realizar dichas comparaciones.

## 11.2 Programa de mediciones

La técnica DOAS (Platt y Stutz, 2008) es un método para determinar la densidad de la columna de gases traza atmosféricos midiendo sus estructuras de absorción en la región espectral visible y ultravioleta cercana.

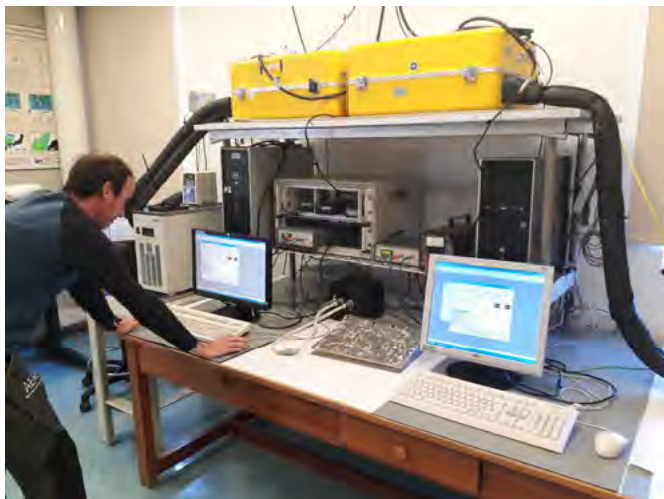


Figura 11.1. Los espectrorradiómetros MAXDOAS (UV-VIS) RASAS II y ARTIST II del IZO.



Figura 11.2. Óptica exterior de la instrumentación DOAS con seguidores celestes.

La técnica se basa en la medición de la absorción atmosférica de la radiación solar en bandas de longitud de onda seleccionadas donde el gas en cuestión presenta una sección transversal de absorción estructurada y conocida. En las observaciones estratosféricas, el instrumento apunta al cenit durante los crepúsculos.

Aunque el desarrollo de la técnica DOAS se concibió para la investigación estratosférica, durante los últimos años se ha utilizado en gran medida para estudiar el medio ambiente troposférico y los episodios de contaminación. En particular, el método denominado Espectroscopía multiaxial de absorción óptica diferencial permite inferir la distribución vertical de especies menores a partir de mediciones espectrométricas de la luz solar dispersada en determinados ángulos de elevación (mediciones fuera del eje). La técnica de análisis utiliza el método de estimación óptica (Rodgers, 2000) al combinar las mediciones fuera del eje con un algoritmo de transferencia radiativa con el fin de obtener la mejor solución para todos los ángulos de elevación utilizados.

Los instrumentos toman automáticamente espectros desde un ángulo cenital solar  $\text{SZA} = 96^\circ$  antes del mediodía (AM) hasta un  $\text{SZA} = 96^\circ$  después del mediodía (PM), todos los días. Como el instrumento debe funcionar con una temperatura ambiente estabilizada y también con una temperatura y humedad internas estabilizadas, esos parámetros se monitorizan y registran en archivos de datos. La red de difracción del instrumento se calibra aproximadamente cada año y el ángulo de elevación una vez al mes. La calidad de los datos se controla una vez que ha concluido la inversión espectral. Los datos adquiridos se filtran teniendo en cuenta el análisis y el error instrumental, el espesor óptico de los aerosoles y los ángulos cenitales solares, a fin de garantizar la calidad.

El INTA lleva realizando mediciones de  $\text{O}_3$  y  $\text{NO}_2$  estratosféricos en el IZO desde 1993. Los datos se han utilizado para estudiar la distribución estratosférica de  $\text{O}_3$  y  $\text{NO}_2$  en la región subtropical (Gil *et al.*, 2012 y Yela *et al.*, 2017) y para validar productos de satélite (Hendrick *et al.*, 2011; Robles-Gonzalez *et al.*, 2016; Yela *et al.*, 2017). En 2003, la instalación de un espectrómetro DOAS ultravioleta amplió las mediciones de gases estratosféricos a la región del ultravioleta cercano, facilitando así la monitorización del BrO estratosférico y la estimación de la concentración de BrO en la troposfera libre. En 2010 los instrumentos



se adaptaron a las mediciones MAXDOAS, lo que permitió detectar gases traza en la troposfera libre, como el IO y el NO<sub>2</sub> (Puentedura *et al.*, 2012; Gomez *et al.*, 2014; Gil-Ojeda *et al.*, 2015) en la región visible y el BrO y el HCHO en la región ultravioleta. Antes de su instalación en el IZO, en 2009, el instrumento MAXDOAS-Vis había participado en la campaña internacional CINDI (Instrumento de medición de dióxido de nitrógeno de la campaña de intercomparación de Cabaw) de intercomparación a ciegas de instrumentos MAXDOAS de medición de NO<sub>2</sub> (Piters *et al.*, 2012; Pinaridi *et al.*, 2013). Durante la campaña AMISOC de 2013, se llevó a cabo un amplio programa de mediciones de IO en tres diferentes niveles de altitud en Tenerife.

## 11.3 Participación en proyectos y en campañas y experimentos científicos

### 11.3.1 Contribución a la base de datos de la red NDACC

La Red para la detección de cambios en la composición de la atmósfera (NDACC) (De Mazière *et al.*, 2018) es una de las redes

mundiales más importantes cuyo objetivo principal es el de establecer bases de datos a largo plazo para detectar cambios y tendencias en el estado químico y físico de la atmósfera y evaluar las conexiones de dichos cambios con el clima y la calidad del aire. El INTA contribuye a la NDACC desde 1998 gracias a las mediciones DOAS de O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub> que lleva a cabo en el IZO. La participación en la citada red requiere el cumplimiento de estrictos protocolos de medición y obtención de datos para garantizar que los datos de la red sean de una calidad elevada y constante. Las figuras 11.3 y 11.4 muestran los resultados correspondientes al NO<sub>2</sub> y el O<sub>3</sub>.

### 11.3.2 Contribución al servicio CAMS27

El Servicio de Vigilancia de la Atmósfera del Programa Copernicus (CAMS) es un servicio integrado dentro del citado programa, que proporciona información de la composición atmosférica. CAMS27 facilita CAMS o datos atmosféricos de alta calidad en formato HDF GEOMS pocas semanas después de la adquisición de las estaciones seleccionadas de la NDACC, como las mediciones DOAS en el CIAI por parte del INTA.

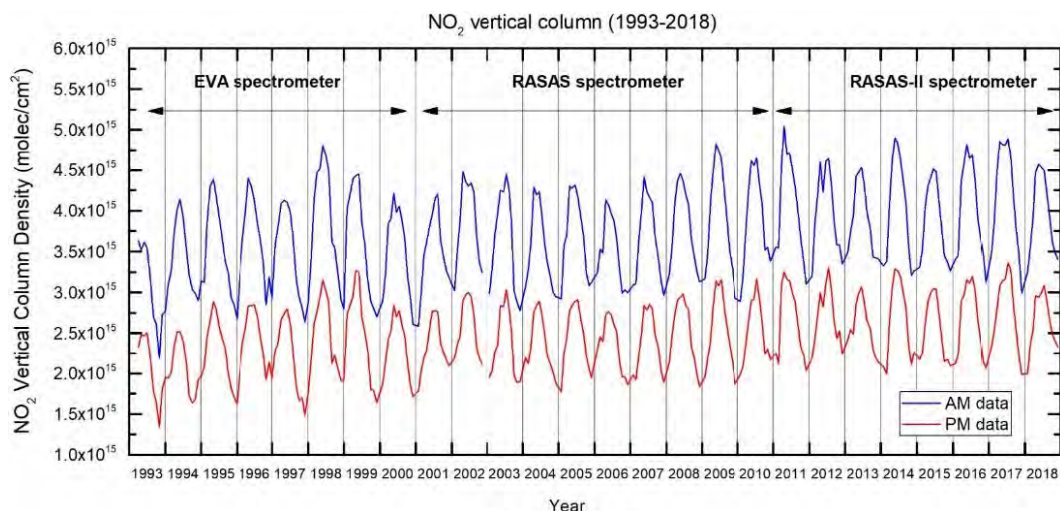


Figura 11.3. Serie temporal de NO<sub>2</sub> estratosférico reanalizado (1993-2018).

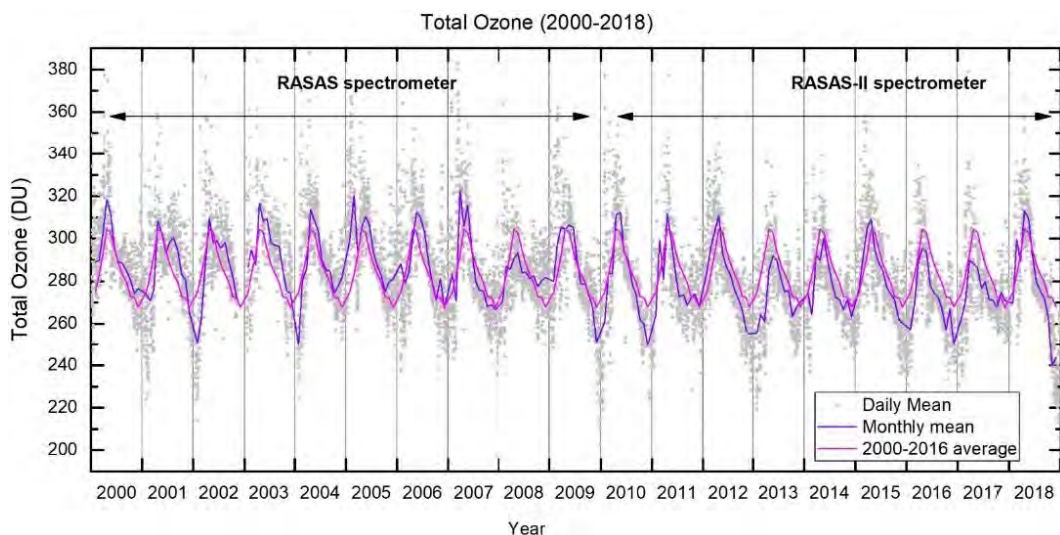


Figura 11.4. Serie temporal de O<sub>3</sub> estratosférico reanalizado (2000-2018).



### 11.3.3 Validación de productos de dióxido de nitrógeno y formaldehído (NIDFORVal) del SP5 utilizando la red NDACC y datos de teledetección terrestres FTIR y DOAS UV-Vis complementarios

Esta es una propuesta de la ESA (ID28607) liderada por el Instituto Belga de Aeronomía Espacial (BIRA-IASB) que comenzó en 2016 y se extiende hasta 2024. El objetivo de este proyecto consiste en establecer una red de observaciones que respalden la validación de productos troposféricos generados por el satélite Sentinel-5 Precursor (Sentinel-5P). Los instrumentos INTA-MAXDOAS instalados en el CIAI forman parte del equipo de calibración y validación del Sentinel-5P para el  $\text{NO}_2$ .

### 11.3.4 Aviación y atmósfera: estudio aeroespacial sobre aerosoles y gases (AVATAR)

AVATAR es un proyecto financiado por el Ministerio Español de Economía, Industria y Competitividad (CGL2014-55230-R) que se centra principalmente en el análisis del impacto de los aerosoles en el clima a través del estudio de la interacción entre gases y aerosoles, en el estudio de la distribución de gases y aerosoles en áreas aeroportuarias, en los efectos radiativos de los aerosoles y las nubes, y en la realización de comparaciones entre las mediciones satelitales y terrestres de los aerosoles.

Este proyecto también se centra en la vigilancia de la troposfera libre y la estratosfera con el objetivo de ampliar los resultados anteriores de la campaña AMISOC con respecto a la variación estacional del IO y el BrO en la troposfera libre. Las actividades llevadas a cabo en el seno de AVATAR han apoyado la monitorización de gases traza y las actividades de NIDFORVal en el CIAI. Este proyecto se opera en colaboración con el programa de observación de aerosoles *in situ*.

## 11.4 Resumen de los resultados más destacados durante el periodo 2017-2018

Entre 2016 y 2018, los instrumentos MAXDOAS han formado parte del proyecto de investigación AVATAR. Como continuación de proyectos de investigación anteriores, durante estos años se ha estudiado la distribución de BrO, HCHO e IO en la troposfera libre.

### 11.4.1 Mediciones de IO en la troposfera libre: evolución estacional

La instalación de MAXDOAS-Vis en 2010 permitió detectar el IO en la troposfera libre. Esta fue la primera vez que se detectó y midió esta especie en la troposfera libre, lo que arrojó densidades de columna inclinada coherentes con una concentración de fondo de 0,2 a 0,4 pptv en la troposfera libre de las regiones marinas y abrió el debate acerca del origen del IO en esta capa (Puentadura *et al.*, 2012). Durante el proyecto AVATAR, a lo largo del año 2016, se realizó un estudio de la evolución estacional del IO. Esta especie se observa durante el año por encima del límite de detección al nivel del observatorio como se puede apreciar en la fig. 11.5.

La cantidad de IO varía entre 0,06 y 0,55 pptv según el límite indicado por Puentadura *et al.* (2012). La evolución estacional

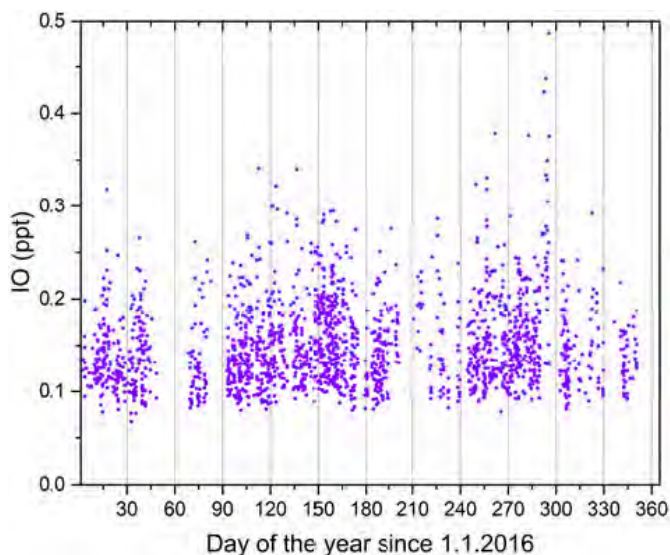


Figura 11.5. Evolución estacional del IO en la troposfera libre durante 2016.

en 2016 muestra un máximo en primavera y otoño, aunque este comportamiento puede estar modulado por la meteorología, ya que estudios previos durante 2013 señalaban un máximo en otoño pero no durante la primavera. Este asunto es objeto de investigación en la actualidad.

### 11.4.2 BrO en la troposfera libre

Se ha realizado un intento de determinar la evolución estacional del BrO en la troposfera libre durante el año 2016. En proyectos anteriores (AMISOC) se observó un límite superior de 1 pptv en el verano para la altitud del volcán Teide. Durante AVATAR, se exploraron diferentes estaciones para examinar las diferencias en el comportamiento del BrO. Aunque con la técnica MAXDOAS se detectó esta especie por encima del límite de detección a lo largo del año, su firma espectral no puede ser confirmada, debido principalmente a la fuerte interferencia del HCHO, que absorbe en la misma región espectral. Sin embargo, las observaciones son coherentes con las anteriores obtenidas durante la campaña AMISOC.

### 11.4.3 Detección y evolución estacional del HCHO en la troposfera libre

El HCHO es un gas traza incluido en los compuestos orgánicos volátiles (COV). Su presencia en la atmósfera puede deberse a emisiones naturales o antropogénicas. Uno de los resultados anteriores que se obtuvieron en el transcurso del proyecto AMISOC fue la inesperada presencia del HCHO en la troposfera libre (TL) de Tenerife en una cantidad nada despreciable. Durante este proyecto, el límite superior de HCHO se estimó en 1 ppb a la altitud del observatorio del Teide. Durante AVATAR, el CIAI dirigió un estudio más extenso sobre el comportamiento del HCHO en la TL. La concentración de HCHO se determinó para los años 2016 y 2017 mediante espectroscopía MAXDOAS y aplicando la metodología descrita en Gómez *et al.* (2015), considerando solo días prístinos y claros. Su evolución estacional se muestra en la fig. 11.6. El ciclo anual presenta un máximo durante el verano con un valor máximo medio de  $289,5 \pm 86,4$  pptv y un mínimo durante el invierno de  $181,2 \pm 74,2$  pptv.

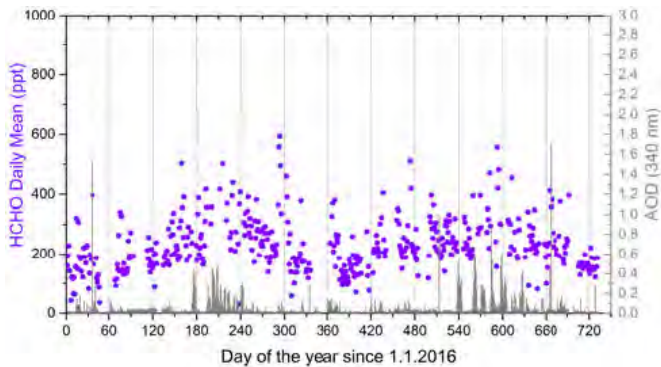


Figura 11.6. Evolución estacional del HCHO en la troposfera libre durante 2016 y 2017.

#### 11.4.4 Asimetría hemisférica en las tendencias del NO<sub>2</sub> estratosférico

Las observaciones DOAS terrestres tienen un gran potencial para vigilar e investigar la composición de la estratosfera y para realizar estudios de tendencias. Con la serie refinada DOAS del NO<sub>2</sub>, obtenida en cuatro emplazamientos, hemos investigado los cambios a largo plazo en la distribución vertical del NO<sub>2</sub> (Yela *et al.*, 2017).

Se utilizaron más de 20 años de datos de densidad de columna vertical del NO<sub>2</sub> estratosférico de espectrómetros DOAS cenitales terrestres para llevar a cabo el análisis de tendencias, en particular, mediante regresión lineal múltiple. Los espectrómetros de la red NDACC abarcan las latitudes subtropicales en el hemisferio norte (Izaña, 28 °N), el Subantártico sur (Ushuaia, 55 °S) y la Antártida (Marambio, 64 °S, y Belgrano, 78 °S). Los resultados muestran que para el periodo 1993-2014 se encontró una tendencia decenal positiva media de + 8,7 % en las estaciones subtropicales del hemisferio norte, y tendencias decenales negativas de -8,7 y -13,8 % en el hemisferio sur en Ushuaia y Marambio, respectivamente; todas las tendencias son estadísticamente significativas al 95 % (fig. 11.7). La mayoría de las tendencias se deben a variaciones posteriores a 2005.

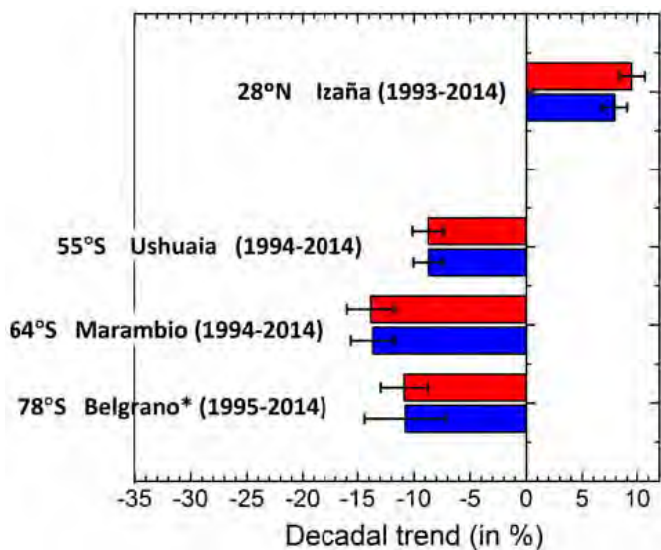


Figura 11.7. Tendencias decenales AM (rojo) y PM (azul) obtenidas para las estaciones DOAS. La tendencia en Belgrano se obtuvo para el periodo febrero-marzo-abril.

Se utilizó la tendencia de la acumulación diurna por hora para estimar el cambio en la tasa de conversión de N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a NO<sub>2</sub> durante el día. Con pequeñas diferencias, los resultados reproducen los obtenidos para el NO<sub>2</sub>. Las tendencias calculadas para meses individuales muestran una gran variabilidad de mes a mes. En Izaña, el máximo se da en diciembre (+13,1 %), cayendo abruptamente a valores más bajos en la primera parte del año. En el hemisferio sur, el vórtice polar domina las distribuciones mensuales de las tendencias. La gran diferencia en las tendencias en estas dos estaciones relativamente cercanas sugiere un desplazamiento del vórtice hacia el área atlántica/sudamericana en los últimos años. Los resultados obtenidos proporcionan la evidencia de que el NO<sub>2</sub> producido por la descomposición del N<sub>2</sub>O no es la única causa de la tendencia observada en la estratosfera y respaldan estudios recientes ya publicados que apuntan a una redistribución dinámica a partir de la última década.

Se exploró la sensibilidad de la tendencia a la longitud de la serie de datos reduciendo el periodo tanto en los meses iniciales como en los finales. Para este ejercicio se eligió la serie de Izaña PM. Los resultados (fig. 11.8) muestran que la tendencia permanece esencialmente sin cambios si la serie de datos se acorta hasta cinco años al principio y hasta cuatro al final, lo que brinda confianza en la estabilidad de la tendencia. También se puede observar que la tendencia es mayor durante la última década (2004-2014).

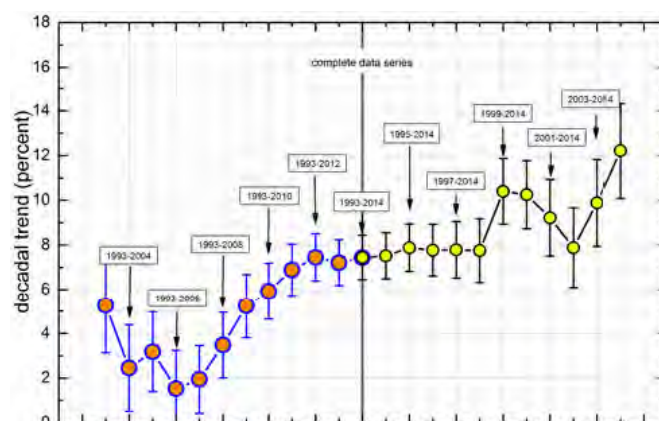


Figura 11.8. Dependencia de la tendencia de Izaña PM en el periodo seleccionado. En el punto central se utiliza la serie temporal completa 1993-2014. Cada punto de la izquierda (círculos naranjas) representa la tendencia después de reducir la serie de tiempo 1 año antes de 2014. Cada punto de la derecha (círculos amarillos) representa la tendencia después de reducir la serie de tiempo 1 año después de 1993.

#### 11.5 Referencias

De Mazière, M., Thompson, A. M., Kurylo, M. J., Wild, J. D., Bernhard, G., Blumenstock, T., Braathen, G. O., Hannigan, J. W., Lambert, J.-C., Leblanc, T., McGe, T. J., Nedoluha, G., Petropavlovskikh, I., Seckmeyer, G., Simon, P. C., Steinbrecht, W. and Strahan, S. E.: The Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (NDACC): history, status and perspectives, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 4935-4964, <https://doi.org/10.5194/acp-18-4935-2018>, 2018.

Gil-Ojeda, M., Navarro-Comas, A., Redondas, O., Puentedura, F., Hendrick, M., Van Roozendaal, J., Iglesias and E. Cuevas: Total ozone measurements from the NDACC Izaña Subtropical Station:

- Visible spectroscopy versus Brewer and satellite instruments. Quadrennial Ozone Symposium, (QOS 2012). Toronto, Canada. 27-31 August 2012.
- Gil-Ojeda, M., Navarro-Comas, L., Gómez-Martín, J. A., Adame, A., Saiz-López, C. A., Cuevas, Y., González, O., Puentedura, E., Cuevas, J.-F., Lamarque, D., Kinnison, S., Tilmes: NO<sub>2</sub> seasonal evolution in the north subtropical free troposphere, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, pp. 10569-10579, doi:10.5194/acp-15-10567-2015, 2015.
- Gil, M., M. Yela, L. N. Gunn, A. Richter, I. Alonso, M. P. Chipperfield, E. Cuevas, J. Iglesias, M. Navarro, O. Puentedura and S. Rodríguez: NO<sub>2</sub> climatology in the northern subtropical region: diurnal, seasonal and interannual variability *Atmos. Chem. Phys.* 8, 1635-1648, 2008.
- Gómez, L., Navarro-Comas, M., Puentedura, O., González, Y., Cuevas, E. and Gil-Ojeda, M.: Long-path averaged mixing ratios of O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub> in the free troposphere from mountain MAX-DOAS, *Atmos. Meas. Tech.*, 7, 3373-3386, doi:10.5194/amt-7-3373-2014, 2014.
- Hendrick, F., J.-P. Pommereau, F. Goutail, R. D. Evans, D. Ionov, A. Pazmino, E. Kyrö, G. Held, P. Eriksen, V. Dorokhov, M. Gil and M. Van Roozendaal: NDACC/SAOZ UV-visible total ozone measurements: improved retrieval and comparison with correlative ground-based and satellite observations, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 5975-5995, 2011.
- Pinardi, G., Van Roozendaal, M., Abuhassan, N., Adams, C., Cede, A., Clémer, K., Fayt, C., Frieß, U., Gil, M., Herman, J., Hermans, C., Hendrick, F., Irie, H., Merlaud, A., Navarro Comas, M., Peters, E., PETERS, A. J. M., Puentedura, O., Richter, A., Schönhardt, A., Shaiganfar, R., Spinei, E., Strong, K., Takashima, H., Vrekoussis, M., Wagner, T., Wittrock, F. and Yilmaz, S.: Erratum: MAX-DOAS formaldehyde slant column measurements during CINDI: intercomparison and analysis improvement (*Atmospheric Measurement Techniques* (2013) 6 (167-185)), *Atmos. Meas. Tech.*, 6 (2), 219, doi: 10.5194/amt-6-219-2013, 2013.
- Piters, A. *et al.*: The Cabauw Intercomparison campaign for Nitrogen Dioxide measuring Instruments (CINDI): design, execution, and early results, *Atmos. Meas. Tech.*, 5, 457-485, doi:10.5194/amt-5-457-2012, 2012.
- Platt and Stutz: *Differential Optical Absorption Spectroscopy, Principles and Applications*, Springer, 2008.
- Puentedura, O., Gil, M., Saiz-López, A., Hay, T., Navarro-Comas, M., Gómez-Peláez, A., Cuevas, E., Iglesias, J. and Gómez, L.: Iodine monoxide in the north subtropical free troposphere, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 4909-4921, doi:10.5194/acp-12-4909-2012, 2012.
- Robles-González, C., Navarro-Comas, M., Puentedura, O., Schneider, M., Hase, F., García, O., Blumenstock, T. and Gil-Ojeda, M.: Intercomparison of stratospheric nitrogen dioxide columns retrieved from ground-based DOAS and FTIR and satellite DOAS instruments over the subtropical Izaña station, *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 4471-4485, doi:10.5194/amt-9-4471-2016, 2016.
- Rodgers, C. D.: *Inverse methods for Atmospheric Sounding: Theory and Practice*, World Scientific, Series on Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics, Vol. 2, 2000.
- Yela, M., Gil-Ojeda, M., Navarro-Comas, M., González-Bartolomé, D., Puentedura, O., Funke, B., Iglesias, J., Rodríguez, S., García, O., Ochoa, H. and Deferrari, G.: Hemispheric asymmetry in stratospheric NO<sub>2</sub> trends, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 13373-13389, <https://doi.org/10.5194/acp-17-13373-2017>, 2017.

## 11.6 Personal

El grupo de investigación DOAS está compuesto por investigadores y técnicos especialistas del INTA y del CIAI-AEMET:

Dra. Margarita Yela González (INTA; jefa del programa);  
 Dra. Olga Puentedura Rodríguez (INTA; investigadora científica);  
 Dra. Mónica Navarro Comas (INTA; investigadora científica);  
 Javier Iglesias Méndez, (INTA; investigador científico);  
 Dra. Laura Gómez Martín (INTA; investigadora científica);  
 Ramón Ramos (AEMET; jefe de infraestructuras).



## 12 Vapor de agua

### 12.1 Principales objetivos científicos

Los principales objetivos científicos de este programa son:

- Efectuar observaciones de alta calidad y estudiar el contenido de la columna total del vapor de agua precipitable (PWV) y su perfil vertical.
- Analizar la variabilidad intrahoraria así como los ciclos medios diarios y anuales del PWV en diferentes localizaciones y altitudes de las islas de Tenerife y La Palma.
- Estudiar el forzamiento radiativo debido al vapor de agua y las nubes.
- Estudiar las series medias mensuales y anuales, analizando su homogeneidad y evaluando sus anomalías y la evolución en el tiempo para detectar posibles tendencias.

### 12.2 Programa de mediciones

En este programa se utilizan varias técnicas de medición:

#### 12.2.1 Radiosondas Vaisala RS-92 y RS-40

A partir de los perfiles verticales de humedad relativa obtenidos con radiosondas RS-92, es posible calcular el contenido de agua precipitable en la columna atmosférica integrando numéricamente (usando la regla del trapecio) la función de densidad del vapor de agua atmosférico entre la base y la cima de cada estrato atmosférico. La integración se realiza desde el nivel del suelo hasta los 12 km de altitud. Por defecto, se proporciona el perfil del PWV para las siguientes capas: 1) desde el suelo hasta 1,5 km; 2) de 1,5 a 3 km de altitud en capas de 0,5 km de espesor; 3) de 3 a 12 km de altitud en capas de 1 km de espesor.

Desde el 13 de diciembre de 2017, las radiosondas RS-92 han sido reemplazadas por radiosondas Vaisala RS-40. La radiossonda RS-40 tiene una mayor resolución temporal (1 s) en comparación con la radiossonda RS-92 (2 s), lo que da como resultado un mayor número de niveles en los perfiles verticales de presión, temperatura y humedad. Sin embargo, a grandes altitudes (~ 14 km en la estratosfera), con frecuencia se detecta una leve disminución de la altitud con el tiempo, algo que podría deberse a la combinación entre una resolución temporal excesivamente alta, unos tiempos de respuesta más largos y unos mayores errores de los diferentes sensores meteorológicos y del GNSS. Por estas razones, esos registros se filtran de los archivos antes de evaluarlos.

Por el momento, no se están aplicando correcciones individuales a los datos de la radiossonda RS-92 para corregir posibles faltas de homogeneidad con respecto a los datos de la radiossonda RS-40. En su lugar, se analizará la homogeneidad de las series de medias mensuales de la columna de PWV total y, si es necesario, se homogeneizarán ajustando las medianas en los posibles puntos de discontinuidad.

#### 12.2.2 Técnica radiométrica

El contenido de agua total precipitable en la columna atmosférica se estima con un radiómetro MFRSR (Yankee Environmental Systems, modelo MFR-7) midiendo la absorción del vapor de agua en una banda estrecha alrededor de 941 nm. A partir del valor de PWV deducido de la RS92, es posible caracterizar, por un lado, los parámetros de filtrado del canal de vapor de agua gracias a la técnica de Campanelli (Campanelli *et al.*, 2010; Romero-Campos *et al.*, 2011a), y por otro, mediante la técnica Langley modificada, se pueden obtener las irradiancias extraterrestres para 941 nm, de las cuales se extrae la constante de calibración correspondiente. Finalmente, se obtiene el valor de PWV de 1 minuto.

El MFRSR ha sido el radiómetro utilizado para evaluar el PWV en el Observatorio de Izaña entre 1996 y 2004. Desde 2004, los fotómetros solares Cimel de la red AERONET han realizado mediciones más precisas del PWV pero con una resolución temporal más baja. El 30 de enero de 2019, el motor de pasos del MFRSR se dañó y actualmente se está a la espera de sustituirlo.

#### 12.2.3 Técnica del Sistema Mundial de Navegación por Satélite

La técnica del Sistema Mundial de Navegación por Satélite (GNSS) consiste en la determinación del PWV en la columna atmosférica a partir de los retrasos observados en las señales de radio en dos frecuencias diferentes emitidas por una red de satélites del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y del Sistema Global de Navegación por Satélite (GLONASS) recibidas en el receptor GNSS (fig. 12.1).

Actualmente en el CIAI se está trabajando con nueve estaciones receptoras GNSS (fig. 12.2) situadas a diferentes altitudes, ocho de ellas en Tenerife y una en la isla de La Palma. La presión atmosférica en los lugares donde se encuentran localizadas las antenas GNSS constituye un parámetro fundamental para obtener el PWV a partir del retraso total cenital (ZTD) y del retraso hidrostático cenital (ZHD).



Figura 12.1. Receptor del Sistema Mundial de Navegación por Satélite en el Observatorio Atmosférico de Izaña.

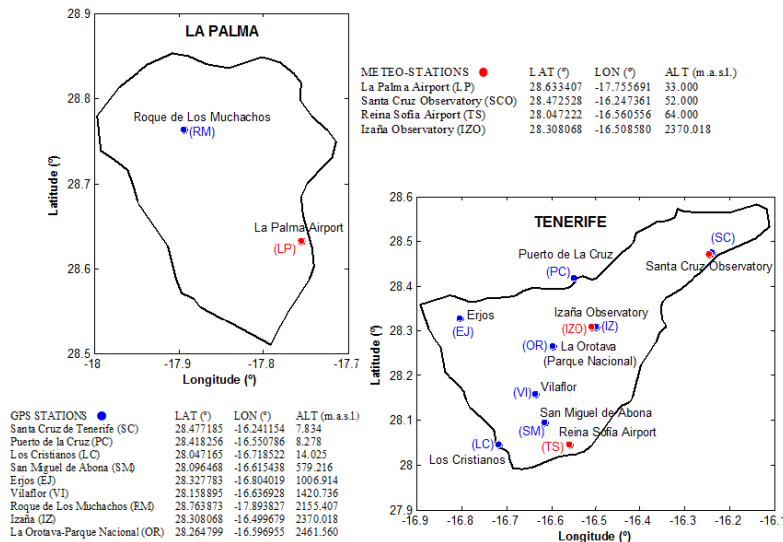


Figura 12.2. Emplazamientos de las estaciones del Sistema Mundial de Navegación por Satélite.

Las cuatro estaciones meteorológicas de referencia utilizadas para obtener registros precisos de presión en superficie con estaciones GNSS son: Aeropuerto de Reina Sofía-Tenerife Sur, IZO, SCO y Aeropuerto de La Palma. El Instituto Geográfico Nacional (IGN) de España se encarga de gestionar la red GNSS y la adquisición de datos.

El PWV se calcula a partir del ZTD y de los valores de la presión en las estaciones. Una de las tareas más importantes que se llevan a cabo es la de estimar la presión en los emplazamientos GNSS donde no se dispone de mediciones de presión superficial. Para ello, con arreglo a la ecuación hidrostática, se calcula una densidad media (ponderada por la gravedad) del aire en la columna atmosférica situada entre las estaciones meteorológicas de referencia más cercanas y nuestra estación GNSS localizada a una diferente altitud sobre el terreno.

La evaluación final del PWV obtenido mediante las tres técnicas descritas anteriormente se realiza mediante la comparación de los resultados entre sí. En el IZO estas técnicas han sido evaluadas utilizando el FTIR como instrumento de referencia. En Schneider *et al.* (2010) se ofrece un análisis detallado al respecto.

### 12.2.4 Adquisición de un radiómetro de microondas

Durante 2019 se prevé recibir un radiómetro de microondas de alta precisión para generar perfiles atmosféricos de manera continua. El modelo adquirido es el RPG-LHATPRO de la serie G5 de Radiometer Physics Rohde & Schwarz Company, y permitirá obtener perfiles verticales de temperatura y humedad en la troposfera con una resolución espacial vertical de 200 a 400 m, dependiendo del nivel de altitud, y una resolución temporal de un segundo. El radiómetro se instalará en el IZO y está especialmente diseñado para medir en condiciones de baja humedad. Opera en dos canales: la línea de absorción del oxígeno de 60 GHz para perfiles de temperatura y la línea del vapor de agua de 183 GHz para obtener perfiles de humedad y de vapor de agua a partir de la medición de la temperatura de brillo utilizando un algoritmo de red neuronal artificial (ANN).

## 12.3 Resumen de los resultados más destacados durante el periodo 2017-2018

### 12.3.1 Variabilidad horaria del PWV del GNSS

Se define la variabilidad horaria del PWV como la dispersión respecto del valor medio horario. Los valores del PWV se calculan cada 15 minutos a partir de órbitas del GNSS ultrarrápidas. Durante una hora se obtienen un total de 5 valores: 4 valores más otro adicional correspondiente al minuto 59 de la hora. Las medias horarias se han calculado con un mínimo de 3 valores horarios (60 %). La dispersión se puede medir de varias formas, por desviaciones típicas horarias, rangos horarios o porcentajes de ambos (véase la tabla 12.1).

Tabla 12.1. Variabilidad horaria del PWV en el Observatorio de Izaña (2008-2018) obtenida por el GNSS.

Variabilidad horaria del PWV en el IZO: 2008-2018	
M(Hstd)	0,14 mm (0,14 mm)
M(Hstdp)	4,65 % (4,66 %)
M(Hran)	0,35 mm (0,34 mm)
M(Hranp)	11,12 % (11,15 %)

Entre paréntesis figuran las cifras obtenidas sin tener en cuenta los valores atípicos.

Hmean son las medias horarias. Hstd son las desviaciones típicas horarias respecto de las medias horarias. M(Hstd) es el valor medio para todo el periodo 2008-2018 de las desviaciones típicas horarias respecto de las medias horarias.

Hstdp =  $100 \cdot \text{Hstd} / \text{Hmean}$  son los porcentajes de las desviaciones típicas horarias respecto de las medias horarias. M(Hstdp) es el valor medio para todo el periodo 2008-2018 de los porcentajes de las desviaciones típicas horarias respecto de las medias horarias.

Hran son los rangos horarios =  $\text{máx}(\text{PWV horario}) - \text{mín}(\text{PWV horario})$ .  $M(\text{Hran})$  representa el valor medio para todo el periodo 2008-2018 de los rangos horarios.

$\text{Hranp} = 100 * \text{Hran} / \text{Hmean}$  son los porcentajes de los rangos horarios de las medias horarias.  $M(\text{Hranp})$  = es el valor medio para todo el periodo 2008-2018 de los porcentajes de los rangos horarios.

Se aplican los límites de Tukey como criterio para comprobar los posibles valores atípicos. En nuestra serie de Hmean, consideramos que un valor es atípico cuando la media horaria se halla fuera del intervalo:

$$[Q1 - 3 * \text{irq}, Q3 + 3 * \text{irq}],$$

donde Q1 y Q3 son los percentiles 25 y 75 de los valores de Hmean, respectivamente, e irq es el rango intercuartílico definido por  $\text{irq} = Q3 - Q1$ .

En todo el periodo 2008-2018 hay 264 valores atípicos de los cuales el mínimo es 20,60 mm.

En la figura 12.3 se muestra la dependencia de la desviación típica horaria y del rango horario con respecto a la media horaria del PWV obtenido por el GNSS en el Observatorio de Izaña durante el periodo 2008-2018.

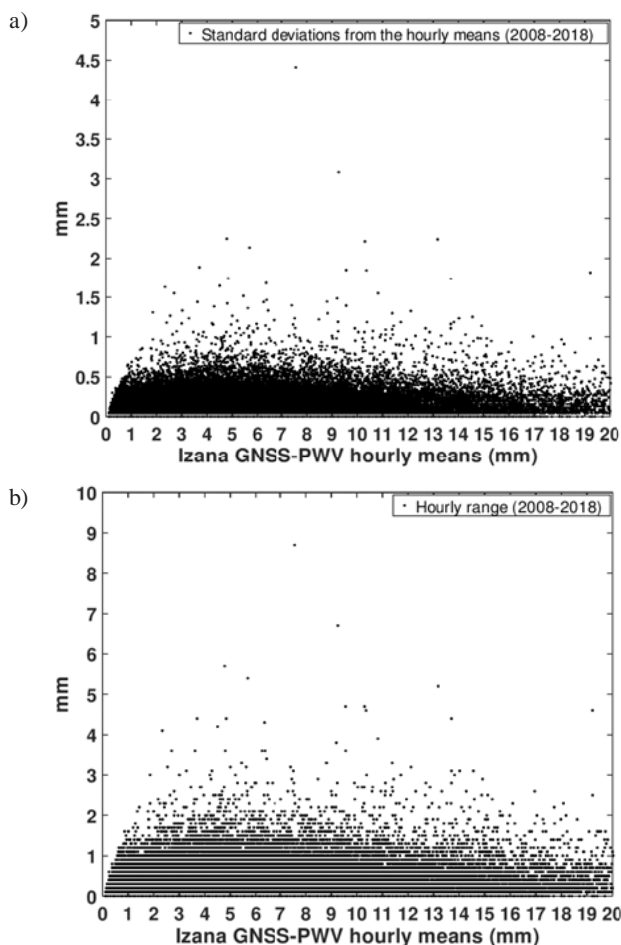


Figura 12.3. a) Dependencia de la desviación típica horaria y b) rango horario con respecto a la media horaria del PWV obtenido por el GNSS en el IZO durante el periodo 2008-2018.

Tabla 12.2. Variabilidad horaria del PWV en el Observatorio de Santa Cruz (2008-2018) obtenida por el GNSS.

Variabilidad horaria del PWV en el SCO: 2008-2018	
M(Hstd)	0,20 mm (0,20 mm)
M(Hstdp)	1,05 % (1,05 %)
M(Hran)	0,50 mm (0,50 mm)
M(Hranp)	2,56 % (2,57 %)

Entre paréntesis figuran las cifras obtenidas sin tener en cuenta los valores atípicos.

En el SCO, en todo el periodo 2008-2018 hay 111 valores atípicos de los cuales el mínimo es 48,4 mm. En la figura 12.4 se muestra la dependencia de la desviación típica horaria y del rango horario con respecto a la media horaria del PWV obtenido por el GNSS en el Observatorio de Santa Cruz de Tenerife durante el periodo 2008-2018.

En resumen, 1 hora es un intervalo de tiempo razonable en el que el PWV podría considerarse que es constante, tanto en la superficie (SCO) como en la troposfera libre (IZO) ya que la mayor parte de su variación cae dentro del margen de error de la medición de  $\pm 3,5$  mm (Schneider *et al.*, 2010).

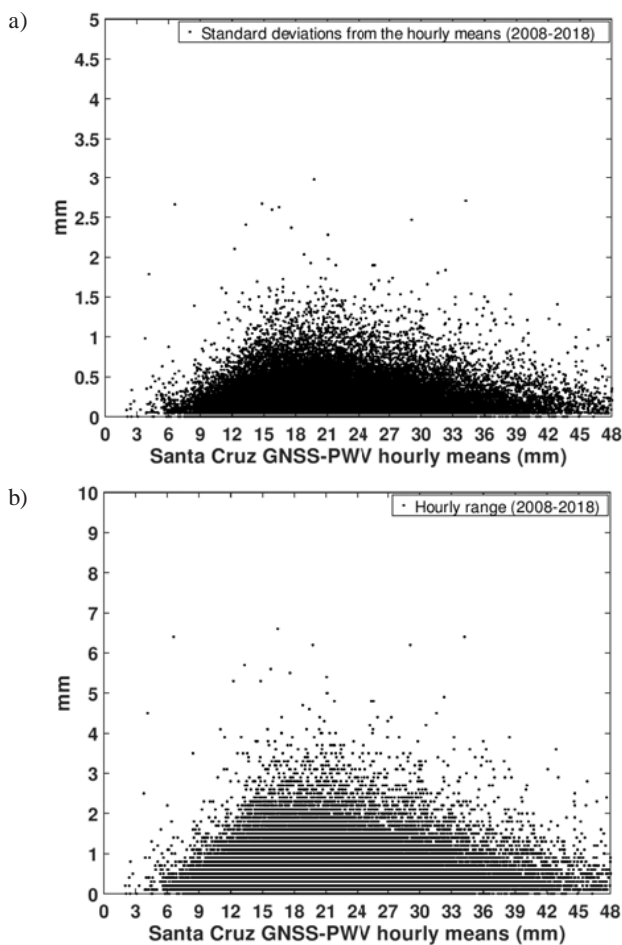


Figura 12.4. a) Dependencia de la desviación típica horaria y b) rango horario con respecto a la media horaria del PWV obtenido por el GNSS en el SCO durante el periodo 2008-2018.



### 12.3.2 Ciclo medio diario del PWV del GNSS

En la fig. 12.5 se muestran los ciclos medios diarios de PWV durante el periodo 2008-2018 para las estaciones GNSS del SCO y el IZO. Los ciclos diarios se han calculado a partir de anomalías promediadas cada hora. Para estas estadísticas, se han seleccionado solo aquellos valores medios horarios con, al menos, el 60 % de valores intrahorarios de alta calidad, en días que cuentan con al menos 15 promedios horarios (60 %). Las anomalías horarias diarias se obtuvieron restando del valor de la media horaria correspondiente, el valor de la media diaria. Después, para cada hora, se calculan los promedios de todas las anomalías de datos disponibles dentro del periodo de tiempo objeto de evaluación. Las variaciones diurnas son bastante similares en el IZO y el SCO, lo que sugiere una causa sinóptica (es decir, de tipo no local), con un mínimo observado alrededor de las 10 UTC en estas estaciones y un máximo en torno a las 18 UTC y las 17 UTC en el SCO y el IZO, respectivamente.

En la fig. 12.6 se muestran los ciclos medios diarios para el PWV, la temperatura y la presión en Santa Cruz e Izaña. Existe una correlación inversa entre la evolución diaria de la presión y el PWV tanto durante la noche como por el día. Se observa un retraso en la correlación entre la temperatura y el PWV ya que este último alcanza su valor máximo diario entre las 17 UTC y las 18 UTC aproximadamente, 3 horas después de la hora en que se alcanza la temperatura máxima diaria (más o menos entre las 14 UTC y las 15 UTC aproximadamente).

La presión atmosférica juega un papel más importante en la determinación del PWV que la temperatura. Una incertidumbre de 1 hPa en la presión produce, aproximadamente, la misma incertidumbre en la determinación del PWV (de 0,33 mm a 0,36 mm) que una incertidumbre de 5 K en la temperatura (Hagemann *et al.*, 2003).

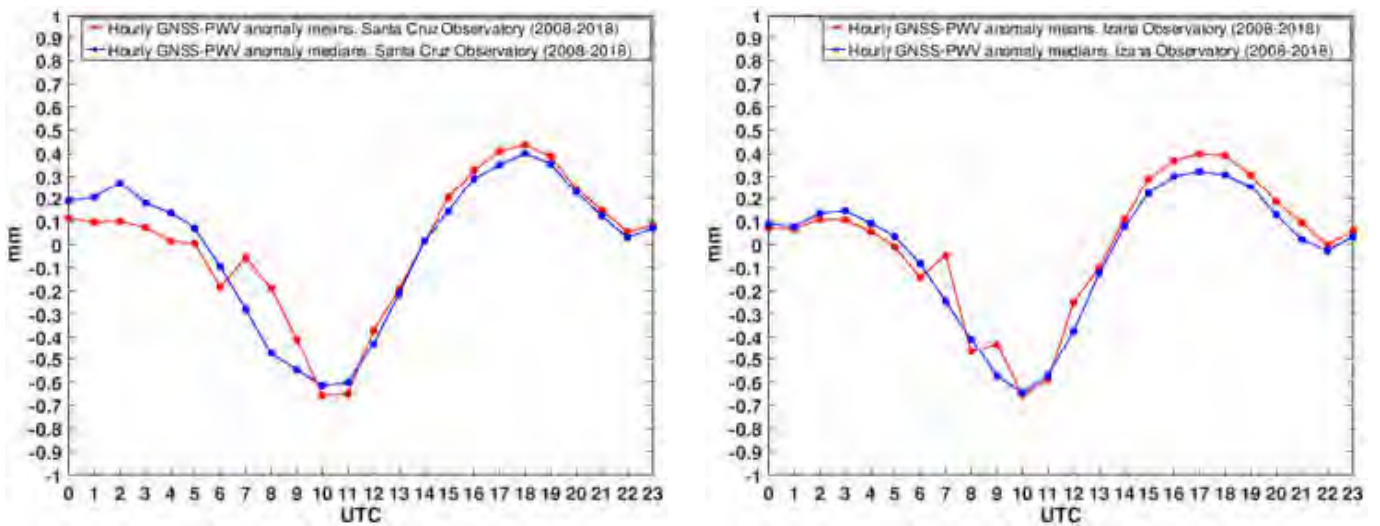


Figura 12.5. Ciclo medio diario del PWV en el SCO (izquierda) y el IZO (derecha) obtenido por el GNSS durante 2008-2018.

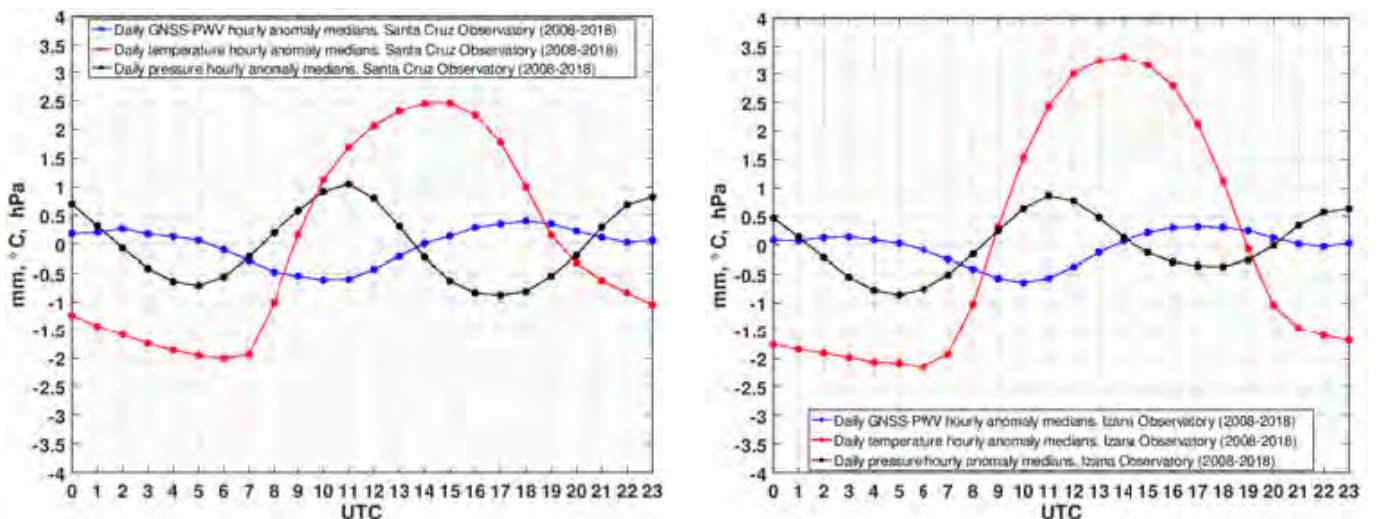


Figura 12.6. Ciclo medio diario para la temperatura, la presión y el PWV en el SCO (izquierda) y el IZO (derecha) en 2008-2016.

### 12.3.3 Serie de datos medios mensuales del PWV del GNSS

Siguiendo un procedimiento similar al de otros autores (Botey *et al.*, 2013), se calcularon series de datos mensuales de PWV a partir de los valores medios diarios de PWV promediando dentro de los meses en los que existen, al menos, 18 (60 %) de todos los posibles datos diarios. Estas series de datos medios mensuales del periodo 2008-2018 se muestran para el SCO (fig. 12.7) y para el IZO (fig. 12.8).

Sin embargo, las series mensuales del SCO y el IZO tenían algunas lagunas. Para llenar estos vacíos mensuales se procede de la siguiente manera. En primer lugar, se evalúan las anomalías mensuales restando de las medias mensuales el ciclo medio anual (véase la siguiente sección). Luego se interpolan linealmente los huecos en las anomalías y finalmente, se agrega de nuevo el ciclo medio anual.

Aplicando el test iterativo de Wilcoxon-Mann-Whitney (Lanzante, 1996) como se describe en Romero-Campos *et al.* (2011), usando un intervalo de confianza del 99 %, no se detectó falta de homogeneidad en el SCO ni en el IZO para ninguna de las dos series: la original con lagunas y la rellenada sin huecos.

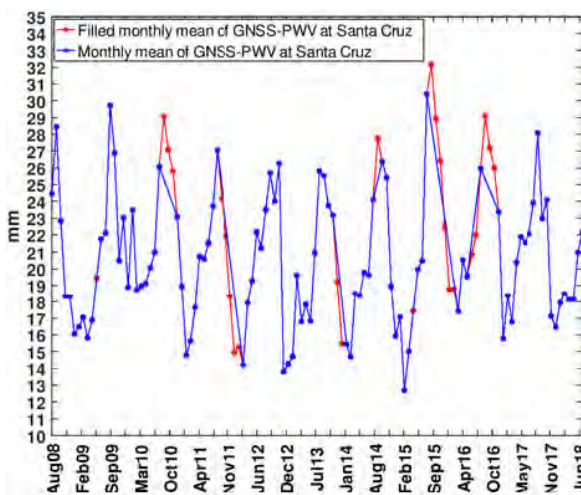


Figura 12.7. Serie de datos mensuales de PWV en el SCO (2008-2018).

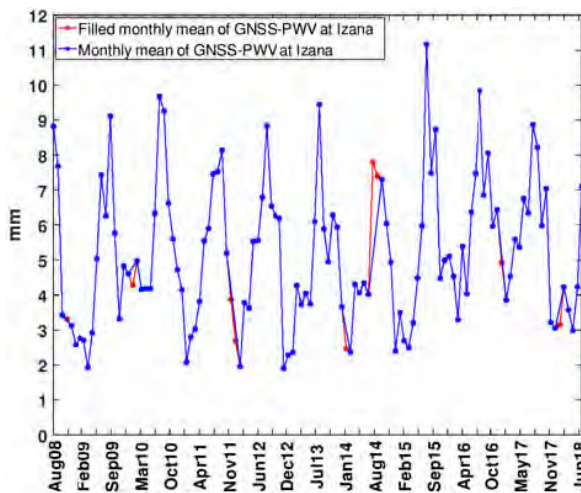


Figura 12.8. Serie de datos mensuales de PWV en el IZO (2008-2018).

### 12.3.4 Ciclo medio anual del PWV del GNSS

En las figura 12.9 y 12.10 se muestran, respectivamente, los ciclos medios anuales del PWV para el SCO y el IZO correspondientes al periodo 2008-2018. El valor máximo del ciclo medio anual en Santa Cruz se produce al final del verano (septiembre), lo que pone de relieve un retraso de un mes con respecto a Izaña, que alcanza su valor máximo en agosto.

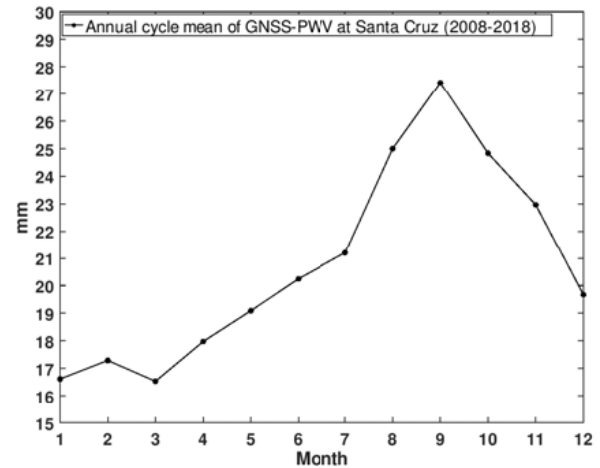


Figura 12.9. Ciclo medio anual del PWV obtenido por el GNSS en el SCO durante el periodo 2008-2018.

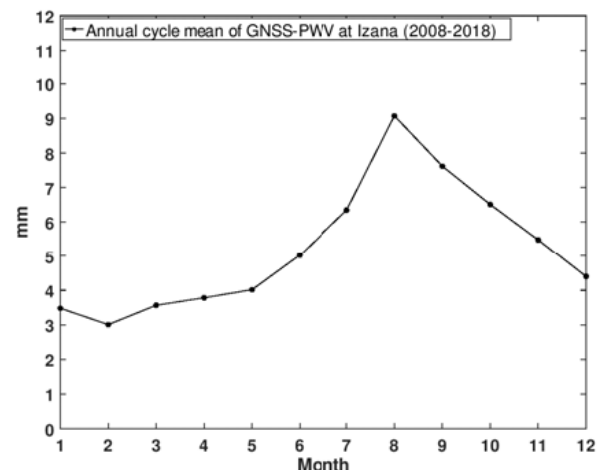


Figura 12.10. Ciclo medio anual del PWV obtenido por el GNSS en el IZO durante el periodo 2008-2018.

### 12.3.5 PWV medio mensual determinado por radiosondeos en Tenerife

Las radiosondas lanzadas en Tenerife han proporcionado series relativamente largas de datos del PWV medio mensual. En la fig. 12.11 se muestran los PWV obtenidos a partir de radiosondeos en el SCO y el IZO para el periodo 1995-2018.

Estos son los valores del PWV calculados a lo largo de la duración del vuelo de la radiosonda (unas 2 horas aproximadamente) desde el momento de su lanzamiento, y suponiendo que, en este periodo de tiempo, el PWV permanece constante. Se pueden observar ciclos anuales con picos en verano-otoño y valores mínimos en invierno. Se observan valores más bajos de PWV en el IZO que en el SCO.



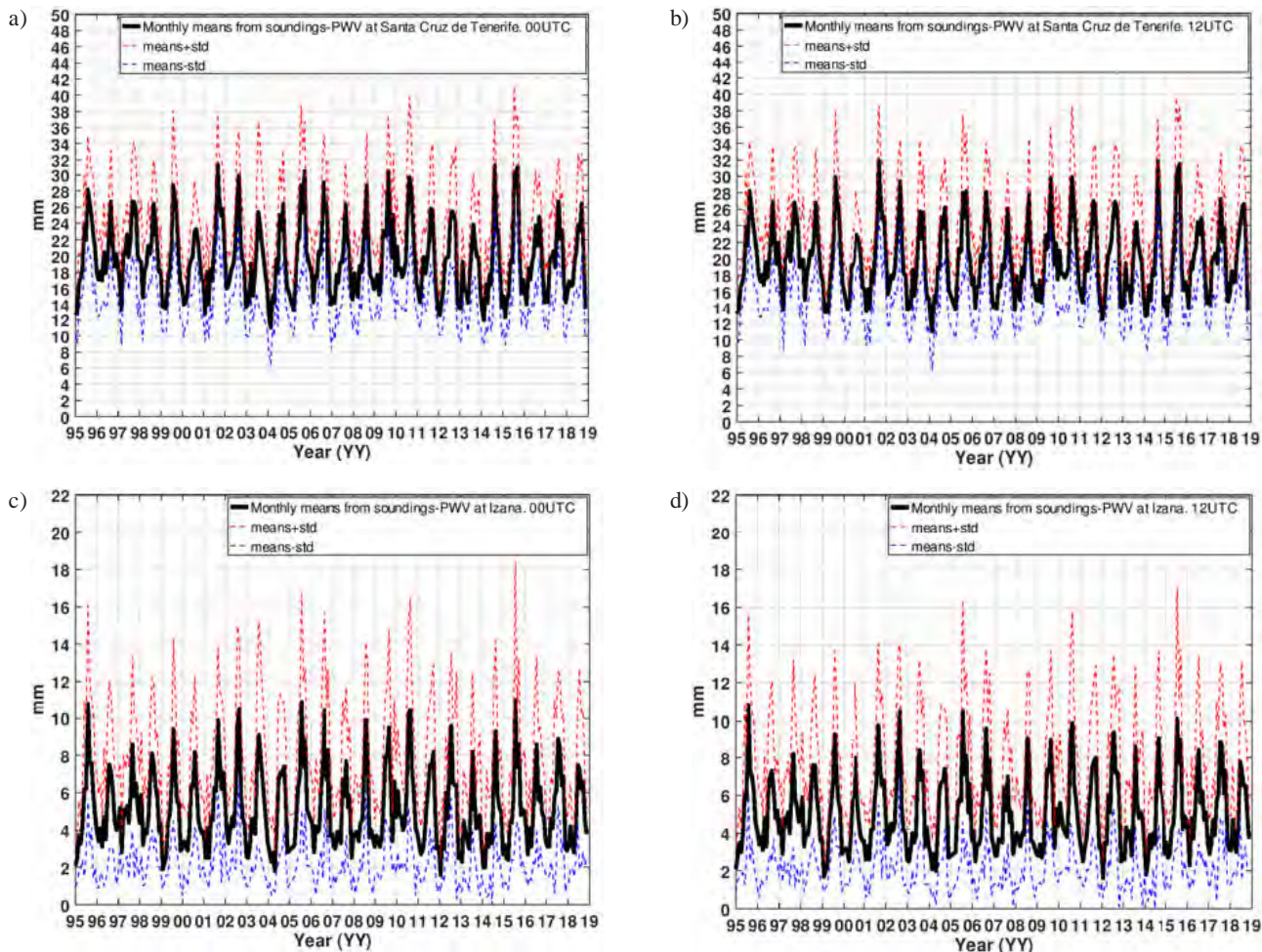


Figura 12.11. Serie de PWV diario (1995-2018) a partir de datos de radiosondeos en Tenerife para el SCO a las a) 00 UTC y b) 12 UTC; y para el IZO a las c) 00 UTC y d) 12 UTC.

### 12.3.6 Estadísticas mensuales de la estratificación vertical del PWV

En la fig. 12.12 se muestra el promedio mensual de la distribución vertical del PWV sobre Tenerife, obtenido a partir de los datos de los radiosondeos a las 00 y las 12 UTC en el periodo 1995-2018. No se encuentran diferencias significativas entre las 00 y las 12 UTC. La altura total de cada columna corresponde al PWV medio mensual total al nivel del mar.

La mayor parte del PWV se concentra dentro de los primeros 1,5 km de altitud. Hay una estación húmeda de agosto a octubre, con un máximo en septiembre (~ 27 mm), y una estación «seca» que corresponde a los meses de enero a abril con un mínimo en febrero-marzo (~ 15 mm).

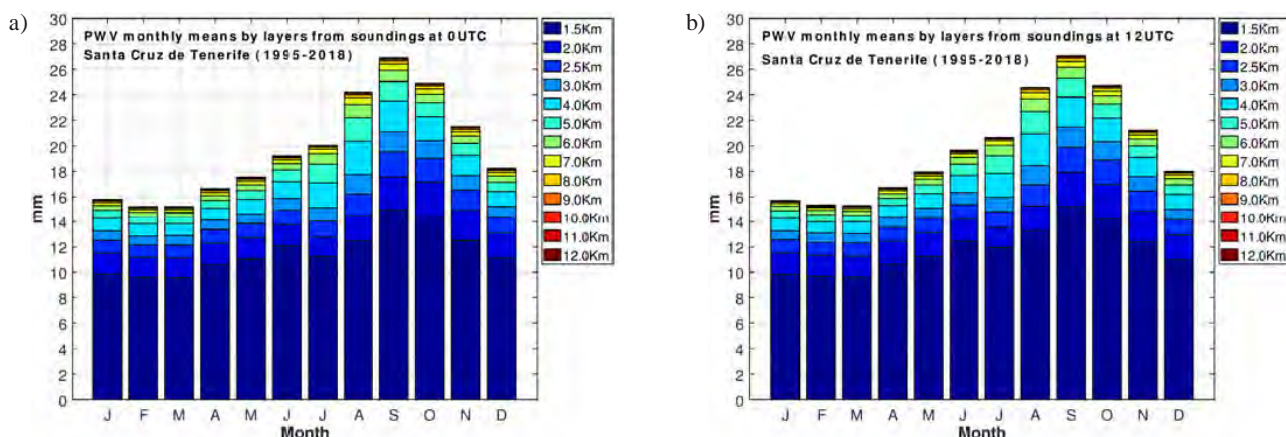


Figura 12.12. Estadísticas mensuales (1995-2018) de distribución vertical del vapor de agua precipitable a partir de datos de radiosondeos en Tenerife: a) 00 UTC y b) 12 UTC.



### 12.3.7 Evolución del PWV anual y estacional determinado por sondeos en Tenerife

La evolución de las medias anuales del PWV (fig. 12.13) pone de manifiesto la existencia de periodos de diferente duración en los que se alternan valores altos y bajos del PWV. Hay periodos «húmedos» y «secos» con valores del PWV por encima o por debajo de la media total para todo el periodo (1995-2018), respectivamente. Además, se pueden ver oscilaciones de mayor amplitud en el periodo 2000-2010.

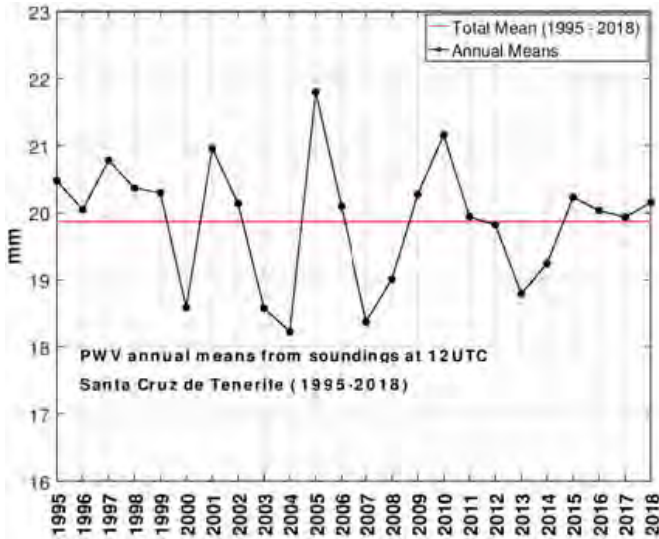


Figura 12.13. Medias anuales del PWC obtenido a partir de datos de radiosondeos en Tenerife (1995-2018), en comparación con el promedio del periodo 1995-2018.

En la evolución de las medias estacionales del PWV (fig. 12.14) se observa que la primavera es la única estación que, para el periodo 2000-2010, presenta medias estacionales anuales por debajo de la media estacional total para el periodo completo (1995-2018).

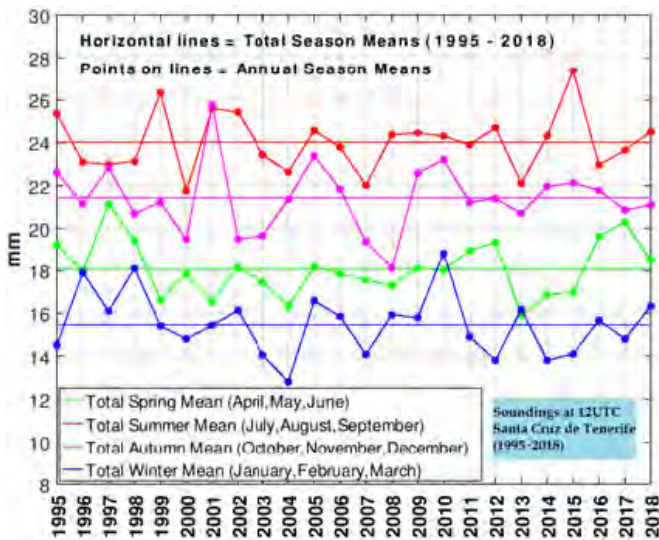


Figura 12.14. Medias estacionales anuales del PWC obtenido a partir de datos de radiosondeos en Tenerife (1995-2018), en comparación con los promedios estacionales de 1995-2018.

### 12.3.8 Relación entre la razón de mezcla y el AOD sobre Tenerife

La razón de mezcla del vapor de agua se define como la masa de vapor de agua contenida en la masa total de aire seco. Tras analizar los perfiles medios mensuales de la razón de mezcla del vapor de agua obtenidos a partir de los sondeos realizados sobre Tenerife, se observan dos patrones típicos. El primer patrón es el correspondiente a atmósferas limpias o prístinas ( $AOD-500\text{ nm} < 0,03$ ), que es el caso más común en la troposfera libre sobre Izaña durante la mayor parte del año (fig. 12.15).

El segundo patrón típico tiene lugar cuando hay irrupciones de aire procedente del desierto sahariano a grandes altitudes sobre el IZO, especialmente durante los meses de julio y agosto, que transportan vapor de agua y contribuyen al aumento de la razón de mezcla (fig. 12.16). La masa de aire atraviesa el océano a niveles bajos cuando sale del continente africano y el vapor de agua se adhiere a las partículas. Posteriormente, la masa de aire se eleva a niveles superiores a los 2000 m en la troposfera libre.

Puede obtenerse una estimación de la influencia de las intrusioniones de aire sahariano en la contribución del vapor de agua a la columna atmosférica si a las medias de las razones de mezcla en cada nivel para julio y agosto se restan las medias de las razones

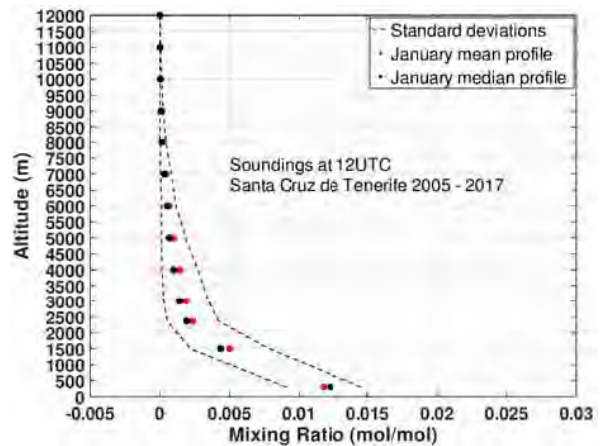


Figura 12.15. Perfiles verticales medio y mediano del mes de enero (2005-2017) del vapor de agua obtenidos por los radiosondeos de Tenerife.

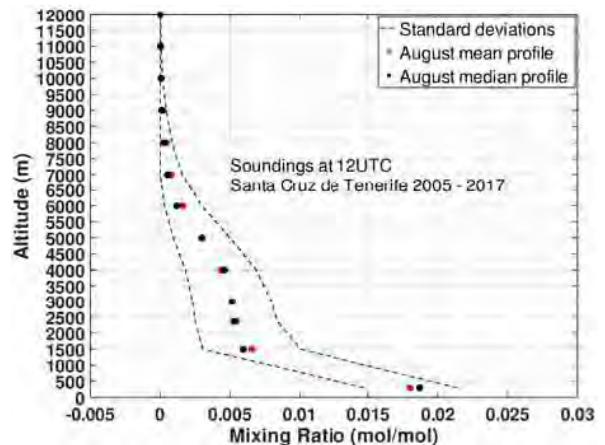


Figura 12.16. Perfiles verticales medio y mediano del mes de agosto (2005-2017) del vapor de agua obtenidos por los radiosondeos de Tenerife.

de mezcla correspondientes a un perfil donde se han eliminado previamente los días con AOD alto.

En general, considerando el AOD-500 nm como referencia de la carga de aerosoles en la atmósfera, en las figuras 12.17 y 12.18 se observa la influencia del AOD en la razón de mezcla del vapor de agua en altitudes bajas y altas.

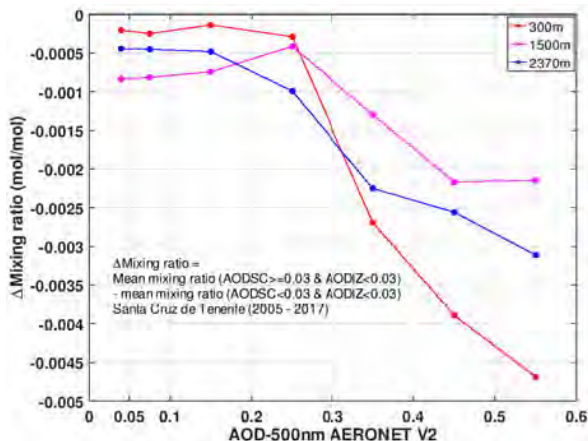


Figura 12.17. Cambio en la razón de mezcla del vapor de agua frente al AOD de 300 m a 2370 m.

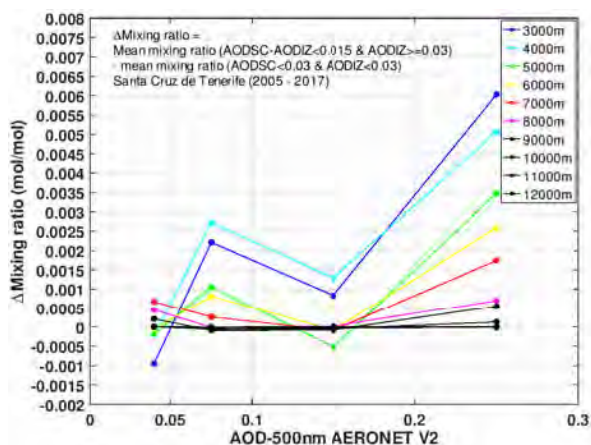


Figura 12.18. Cambio en la razón de mezcla del vapor de agua frente al AOD de 3000 m a 12000 m.

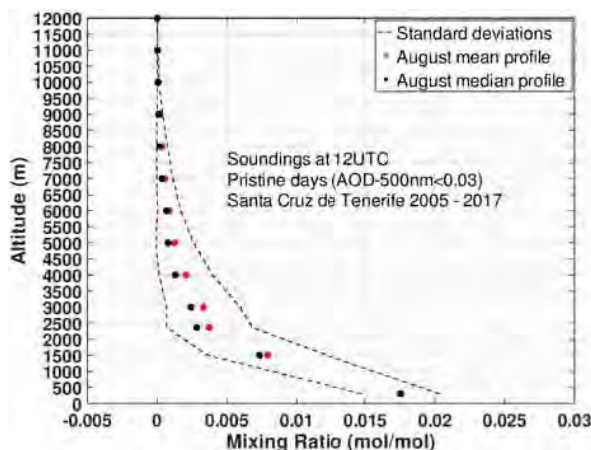


Figura 12.19. Perfiles verticales medio y mediano del mes de agosto (2005-2017) del vapor de agua obtenidos por los radiosondeos de Tenerife solo en días prístinos.

Al quitar de los perfiles verticales aquellos días en los que la carga de polvo ha sido alta, se observa que la razón de mezcla del vapor de agua disminuye en la troposfera libre, especialmente entre los 2000 y los 6000 m (fig. 12.19).

Esta disminución de la razón de mezcla es insignificante en enero, por ejemplo, ya que en este mes las irrupciones de aire sahariano tienden a ocurrir solo en altitudes bajas. En este caso, las masas de aire que vienen directamente de África tienen un camino corto sobre el mar, transportando menos vapor de agua.

## 12.4 Referencias

Botey, R., J. A. Guijarro y A. Jiménez: Valores normales de precipitación mensual 1981-2010. Agencia Estatal de Meteorología. NIPO: 281-13-007-X. 2013.

Campanelli, M., A. Lupi, T. Nakajima, V. Malvestuto, C. Tomasi and V. Estellés (2010): Summertime columnar content of atmospheric water vapor from ground-based Sun-sky radiometer measurements through a new in situ procedure. *J. Geophys. Res.*, 115, D19304, doi: 10.1029/2009JD013211.

Hagemann, Stefan & Bengtsson, Lennart & Gendt, G. (2003): On the determination of atmospheric water vapor from GPS measurements. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, v. 108 (2003). 108. 10.1029/2002JD003235.

Lanzante, J.: Resistant, Robust and Non-Parametric Techniques for the Analysis of Climate Data: Theory and Examples, including Applications to Historical Radiosonde Station Data. *International Journal of Climatology*, Vol. 16, 1197-1226, CCC 0899-8418/96111197-30, by the Royal Meteorological Society, 1996.

Romero Campos, P.M., E. Cuevas Agulló, O. García Rodríguez, A. J. Berjón Arroyo y V.E. Cachorro Revilla: Aplicación de la Técnica de Campanelli para la calibración de los canales de vapor de agua de fotómetros CIMEL en el Observatorio Atmosférico de Izaña. NTD n.º 2. NIPO: 784-11-010-6. Centro de Investigación Atmosférica de Izaña. Agencia Estatal de Meteorología (España), 2011.

Romero Campos, P.M., Marrero, C., Alonso, S., Cuevas, E., Afonso, S. and Ortiz de Galisteo, J. P.: Una Climatología del Agua Precipitable en la Región Subtropical sobre la Isla de Tenerife basada en Datos de Radiosondeos. NTD n.º 6 de AEMET. NIPO: 281-12-007-5. Centro de Investigación Atmosférica de Izaña. Agencia Estatal de Meteorología (España), 2011.

Schneider, M., Romero, P.M., Hase, F., Blumenstock, T., Cuevas, E. and Ramos, R.: Continuous quality assessment of atmospheric water vapour measurement techniques: FTIR, Cimel, MFRSR, GPS, and Vaisala RS92, *Atmos. Meas. Tech.*, 3, 323-338, doi: 10.5194/amt-3-323-2010, 2010.

## 12.5 Personal

Pedro Miguel Romero Campos (AEMET; jefe de programa);  
Ramón Ramos (AEMET; jefe de infraestructuras);  
Sergio Afonso (AEMET; técnico experto en ozonosondeos y sondeos meteorológicos);  
Dra. Yballa Hernández (AEMET; beca en materia del ceilómetro lidar) dejó el CIAI en noviembre de 2018.



## 13 Meteorología

### 13.1 El Observatorio Atmosférico de Izaña como estación centenaria de observación de la OMM

Hoy en día, las supercomputadoras y los sofisticados modelos y satélites constituyen herramientas importantes para los climatólogos. Sin embargo, las observaciones continuas a largo plazo y de alta calidad efectuadas por termómetros, pluviómetros y otros instrumentos siguen siendo esenciales. Sin ellas, no podría asegurarse que la Tierra se haya calentado un grado Celsius durante el siglo pasado. Estas observaciones a largo plazo resultan vitales para la comprensión científica de la variabilidad del clima y el cambio climático, y son esenciales para llevar a cabo las actividades de validación de modelos y de los productos de satélite.

Para promover la recuperación y continuación de estos registros, los gobiernos están nominando estaciones centenarias de observación para su reconocimiento oficial por parte de la OMM. Muchas estaciones centenarias de observación también poseen un interés histórico y cultural excepcional, en la medida que recuerdan épocas anteriores y el nacimiento de la meteorología moderna. Consideradas en conjunto como una red, las estaciones centenarias de observación tienen la capacidad única de contar el relato de la historia climática reciente.

El Observatorio Atmosférico de Izaña fue reconocido como estación centenaria de observación por la OMM en 2017.

### 13.2 Principales objetivos científicos

Los principales objetivos del programa de meteorología son:

- Proporcionar diagnóstico y predicción del tiempo operativa para apoyar las actividades de funcionamiento rutinario en los observatorios del CIAI y emitir alertas internas de tiempo adverso así como predicciones especiales para campañas de campo planificadas, calibraciones al aire libre, reparaciones, etc.
- Implementar y configurar modelos de predicción numérica del tiempo de alta resolución capaces de capturar la compleja meteorología del observatorio de montaña, como ayuda para mejorar las predicciones de apoyo.
- Estudiar la utilización de estrategias de aprendizaje automático para mejorar la predicción de parámetros meteorológicos y de calidad del aire.
- Mantener las observaciones de los parámetros meteorológicos de acuerdo con las especificaciones de la OMM y en el marco de las redes de observación sinóptica y climatológica de AEMET.
- Medir parámetros meteorológicos convencionales en diferentes estaciones de la isla de Tenerife, con el fin de ofrecer apoyo a otros programas de observación.
- Recuperar datos meteorológicos históricos procedentes de diversas fuentes para completar los datos de observación de la estación de Izaña en el Banco Nacional de Datos Climatológicos (BNDC) de AEMET.
- Desarrollar programas de medición de parámetros meteorológicos no convencionales.



Figura 13.1. Estaciones meteorológicas del Observatorio Atmosférico de Izaña.

- Ofrecer información de análisis meteorológico y asesoría técnica para interpretar y respaldar los resultados de otros programas de observación y proyectos científicos, diseñando y ejecutando algoritmos y bases de datos específicos para alcanzar estos objetivos.

### 13.3 Programa de mediciones

El Centro de Investigación Atmosférica de Izaña gestiona directamente seis estaciones de observación meteorológica, localizadas en el IZO (3), el SCO, el BTO y el TPO. En la sección 3 se dan más detalles sobre las instalaciones del CIAI.

#### 13.3.1 Observatorio Atmosférico de Izaña

El IZO tiene tres estaciones meteorológicas completamente automáticas, dos de ellas situadas en el jardín meteorológico (C430E/60010 y Meteo-STD), el cual incluye una red de cinco cámaras web de observación de nubes, y la tercera estación se encuentra en la terraza de instrumentos de la torre de observación (torre meteorológica), a 30 m sobre el nivel del suelo. La instrumentación para efectuar las observaciones manuales (atendidas por personal) con registradores analógicos (bandas) de temperatura, humedad, presión y precipitación, también se mantiene en el IZO con el fin de preservar la serie histórica iniciada en el Observatorio Atmosférico de Izaña en 1916.



Figura 13.2. Instrumentación meteorológica manual del Observatorio Atmosférico de Izaña.



### 13.3.2 Observatorio de Santa Cruz

El SCO tiene una estación meteorológica completamente automática situada en la terraza de instrumentos.

### 13.3.3 Observatorio del Botánico

El BTO cuenta con una estación meteorológica totalmente automática instalada en la estación de ozonosondeos del Jardín Botánico del Puerto de la Cruz.

### 13.3.4 Observatorio del Pico del Teide

El TPO tiene una estación meteorológica automática de muy gran altitud con sensores de temperatura, humedad y presión, complementada con datos de un sensor de viento instalado en la torre del teleférico núm. 4, gestionada por la empresa Teleférico del Teide.

El programa de meteorología también tiene acceso a los datos de sondeos meteorológicos de presión, temperatura, humedad y viento de la estación de Tenerife (con identificativo 60018 de la OMM) situada en la localidad de Güímar. Esta estación pertenece a la red de observación en altitud de AEMET y la gestiona el Centro Meteorológico de Santa Cruz de Tenerife (AEMET).

## 13.4 Recursos meteorológicos

Para lograr los objetivos del programa de meteorología se dispone de las siguientes herramientas:

### 13.4.1 Sistema de acceso a datos interactivo por computadora para el hombre (McIDAS)

Las estaciones de trabajo Linux (Núcleo Fedora) con la aplicación McIDAS (acrónimo inglés del «Sistema de acceso a datos interactivo por computadora para el hombre», es decir, *Man Computer Interactive Data Access System*) ofrecen posibilidades de acceso, explotación y visualización de la información meteorológica procedente de diferentes plataformas georreferenciadas de observación, modelización y teledetección (satélite, radar).

La aplicación permite acceder a todos los datos en tiempo real del Sistema Nacional de Predicción de AEMET, entre los que figuran los siguientes datos y productos:

- Redes mundiales de observación sinóptica en superficie y en altitud.
- Salidas de los modelos de predicción numérica del ECMWF (IFS) y de AEMET (HIRLAM).
- Imágenes de satélite del Meteosat.
- Imágenes de la red de radares meteorológicos de AEMET.
- Datos de la red de detección de descargas eléctricas de AEMET.
- Productos derivados de imágenes MSG (Meteosat de segunda generación) del SAF (Centro de aplicaciones satelitales) Nowcasting.

Utilizando esta aplicación se han desarrollado diferentes procesos automatizados para la explotación de la información meteorológica, entre los que pueden destacarse:

- 1) Generación automática de productos gráficos a partir de modelos específicos e imágenes de productos MSG derivados (composiciones RGB), para su consulta a través de un sitio web interno (fig. 13.3).
- 2) Cálculo de retrotrayectorias isentrópicas de masas de aire a partir de salidas numéricas de análisis (4 ciclos por día) y predicción (cada 12 horas con un alcance de hasta 132 horas) para Tenerife en nueve niveles verticales diferentes (fig. 13.4).
- 3) Detección *in situ* de rayos y sistema de alerta de la red de detección de descargas eléctricas de AEMET, para adoptar acciones preventivas a fin de evitar daños en las instalaciones.

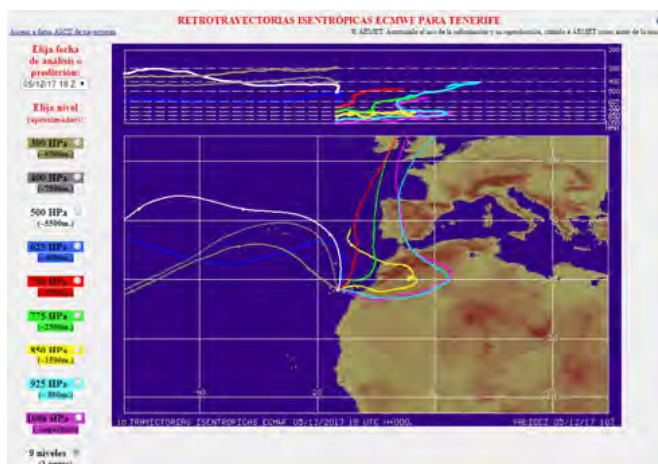


Figura 13.4. Pantallazo de las retrotrayectorias isentrópicas de Tenerife en nueve niveles el 12/05/2017 18 UTC.

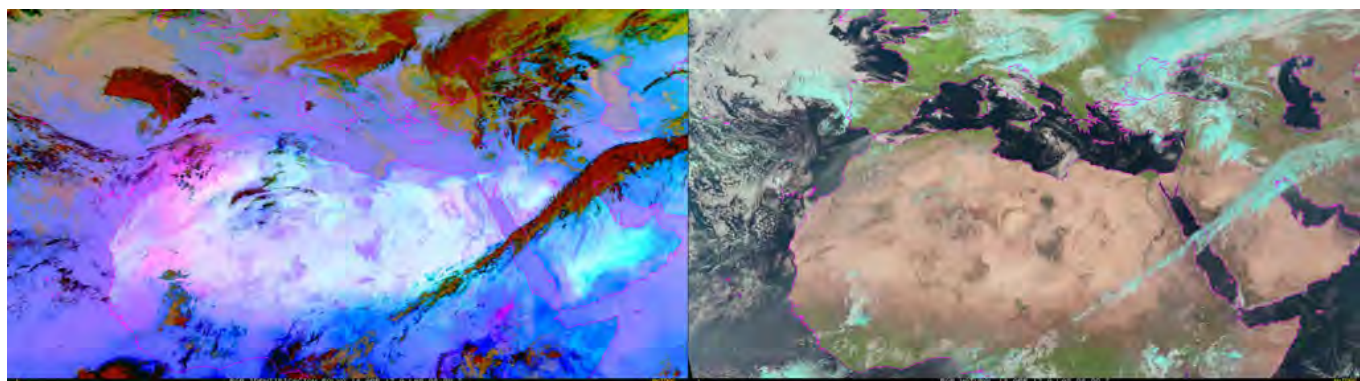


Figura 13.3. Dos imágenes compuestas RGB (rojo, verde y azul) diferentes del satélite Meteosat-10 para un episodio de polvo el 18/04/2017 08:00 UTC. Panel izquierdo: polvo (canales 7, 9 y 10); panel derecho: natural (canales 1, 2 y 3).

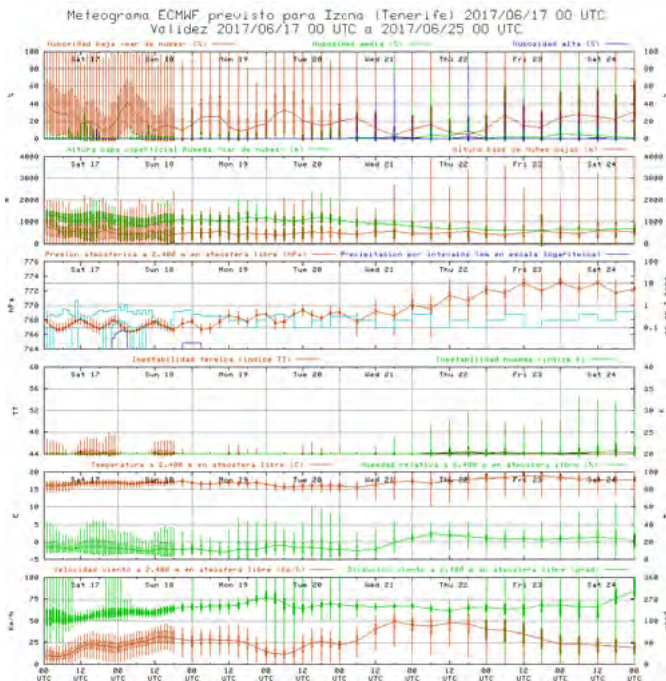


Figura 13.5. Predicción del meteograma de duración semanal para el conjunto de variables en el IZO el 17/6/2017 a 00 UTC.

4) Generación automática de meteogramas a siete días vista de temperatura, humedad, viento, presión y nubosidad para el Observatorio de Izaña utilizando puntos de rejilla isobárica estándar interpolados a 2400 m s.n.m. Los estadísticos se han ponderado utilizando la distancia inversa frente al tiempo de previsión de validez teniendo en cuenta las últimas cinco pasadas del modelo disponibles (figura 13.5).

### 13.4.2 Sistema de recepción EUMETCast

El sistema de recepción en tiempo real EUMETCast para imágenes aéreas y datos de satélites meteorológicos que distribuye EUMETSAT tiene su propia interfaz web interna para mostrar las imágenes recibidas así como un sistema de almacenamiento masivo para archivar imágenes de segmentos MSG comprimidos en el formato nativo.

### 13.4.3 Centro de Datos de EUMETSAT

Existe acceso al Centro de Datos de EUMETSAT para la recuperación de imágenes y productos históricos de los satélites Meteosat.

### 13.4.4 Sistema Servidor de Datos Meteorológicos de AEMET

Hay acceso a bases de datos de modelos numéricos, observaciones, boletines e imágenes de satélite y de radar disponibles en el Sistema Servidor de Datos Meteorológicos (SSDM) de AEMET.

### 13.4.5 Productos del ECMWF y archivo MARS

Además, existe acceso a los sistemas informáticos del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (ECMWF) y posibilidad de consulta en el Sistema de Recuperación y Archivo

Meteorológico (MARS), que es el archivo donde se alojan todos los productos operativos generados en el ECMWF. A partir de este sistema se han desarrollado diferentes procesos de explotación, entre los cuales figuran los siguientes:

- Extracción rutinaria en dos ciclos por día de los campos meteorológicos de análisis y predicción del modelo IFS del ECMWF, que se descodifican en un formato compatible para su explotación desde McIDAS y para la integración del modelo de alta resolución.
- Extracción mensual de salidas de reanálisis ERA-Interim para actualizar grandes series de datos para diferentes proyectos.
- Extracción del cálculo de campos de análisis previos para la determinación de retro trayectorias con el modelo FLEXTRA.
- Extracción rutinaria en dos ciclos por día del sistema CAMS (Servicio de Vigilancia de la Atmósfera del Programa Copernicus) (fig. 13.6).

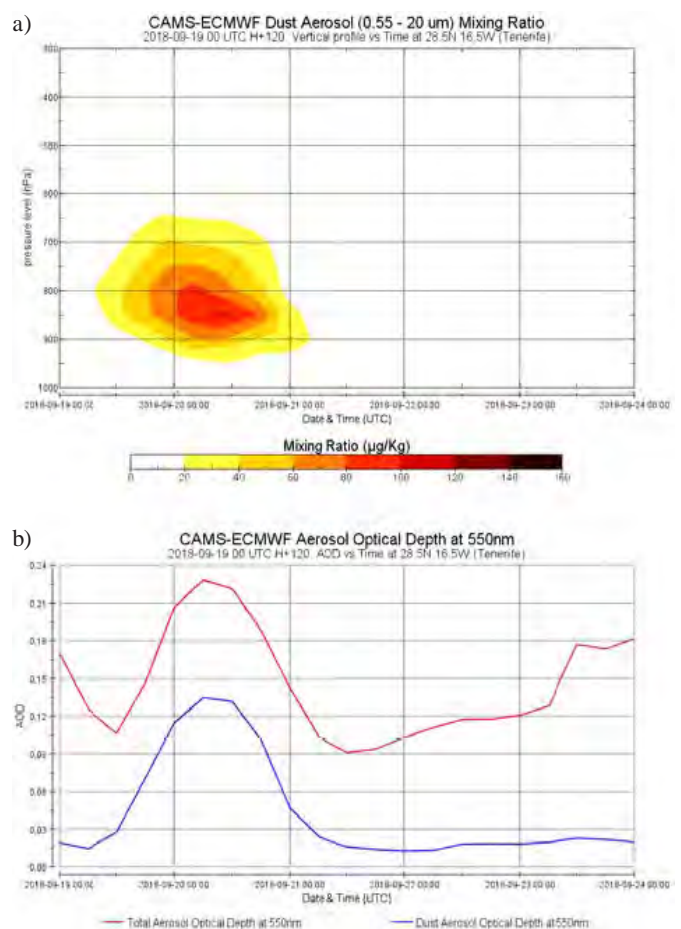


Figura 13.6. Ejemplos de ciclos rutinarios de salidas de CAMS. Evolución prevista de: a) perfil vertical de la razón de mezcla de aerosoles de polvo y b) espesor óptico de los aerosoles a 550 nm el 19/09/2018 00:00 UTC H + 120 para 28,5 °N 16,5 °W (Tenerife).

### 13.4.6 Banco Nacional de Datos Climatológicos de AEMET (BNDC)

Existe acceso al Banco Nacional de Datos Climatológicos (BNDC) de AEMET para extraer datos de observación de las redes climatológicas principal y secundaria de AEMET.



## 13.5 Modelos numéricos

### 13.5.1 Modelo de predicción estadística

Un modelo de predicción estadística basado en el método de los análogos muestra la probabilidad de ocurrencia de los episodios de contaminación. Además, si se colorean los valores meteorológicos en un punto fijo del NE de Canarias en función de la posición del cuartil con respecto a los valores históricos de la serie, pueden apreciarse de un vistazo las condiciones meteorológicas adversas en un plazo de predicción de 108 horas (más detalles en Milford *et al.*, 2008).

FECHA	HORA	DIR	ROSA	VEL	EPI	BLH	B INV	C INV	T BAS	T CIM	MEDIAN	PER99	<=70	>=80
06-06-2018	00	043	ENE	7.1	3.2	648	807	809	13.9	14.5	*****	*****	***	***
06-06-2018	06	040	ENE	7.3	2.9	602	809	1106	11.8	14.2	*****	*****	***	***
06-06-2018	12	043	ENE	5.8	5.1	547	800	1109	13.1	15.0	10.0	20.0	17	00
06-06-2018	18	022	NNE	6.4	3.3	542	833	810	14.7	15.8	*****	*****	***	***
07-06-2018	24	017	NNE	7.1	2.9	633	848	810	14.4	14.6	*****	*****	***	***
07-06-2018	30	018	NNE	7.4	2.8	611	815	1354	12.9	16.0	*****	*****	***	***
07-06-2018	36	010	ENE	7.2	2.1	589	811	1232	14.1	16.9	9.0	74.0	15	09
07-06-2018	42	333	ENE	7.4	4.2	682	826	905	14.5	17.2	*****	*****	***	***
08-06-2018	48	349	ENE	6.5	3.6	582	858	813	15.1	18.0	*****	*****	***	***
08-06-2018	54	332	ENE	6.1	3.8	673	838	1004	13.6	16.8	*****	*****	***	***
08-06-2018	60	322	ENE	7.4	3.6	544	808	905	14.8	16.4	14.0	114.0	00	00
08-06-2018	66	316	ENE	6.7	2.5	566	1354	1489	13.2	13.5	*****	*****	***	***
09-06-2018	72	343	ENE	8.0	2.4	569	1484	1930	11.9	13.5	*****	*****	***	***
09-06-2018	78	351	ENE	6.3	1.6	611	1239	1944	10.5	11.4	*****	*****	***	***
09-06-2018	84	007	ENE	6.8	1.2	800	1342	1776	9.2	13.2	9.0	22.0	00	00
09-06-2018	90	010	ENE	6.0	0.8	526	1342	1774	9.1	13.0	*****	*****	***	***
10-06-2018	96	016	NNE	6.3	0.8	921	1475	1774	8.2	12.9	*****	*****	***	***
10-06-2018	102	021	NNE	6.6	1.1	923	1474	1937	7.5	12.7	*****	*****	***	***
10-06-2018	108	022	NNE	6.4	1.0	723	1478	1775	8.2	12.5	10.0	19.0	00	00

Figura 13.7. Tabla resumen de parámetros meteorológicos que muestra la dirección y velocidad del viento, el parámetro de estabilidad integrado (EPI), la altura de la capa límite (BLH), la altura y temperatura de la capa de inversión (base y tope), la mediana y el percentil 99 del análogo seleccionado y la probabilidad de ocurrencia de superaciones por encima de los percentiles 80 y 70 de la serie histórica de concentración del SO<sub>2</sub>.

### 13.5.2 Modelo de mesoescala PSU/NCAR (MM5)

El programa de meteorología tiene acceso a un sistema de grupos en entorno Linux de procesadores en paralelo para la integración de un modelo meteorológico no hidrostático de alta resolución (MM5) para la zona de Canarias. Las condiciones iniciales y de contorno son las del modelo IFS del ECMWF, generándose rejillas anidadas con resoluciones de 18, 6 y 2 km y un alcance de la predicción de hasta 144 horas.

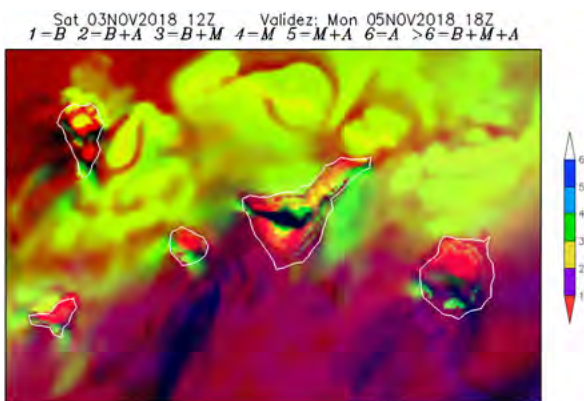


Figura 13.8. Ejemplo de gráficos presentados en la página web del MM5 que muestra la representación de la fracción de nubes total (bajas + medias + altas) sombreada en colores para el 5 de noviembre de 2018 a las 18 UTC.

### 13.5.3 Modelo Weather Research and Forecasting (WRF)

Una superestación de trabajo basada en el procesador Xeon Phi KNL, con 72 núcleos a 1,5 GHz y RAM de 64 GiB, y un sistema operativo CentOS7.3 con el compilador Intel Parallel Studio XE de Fortran y C ++, permiten integrar el modelo WRF-ARW con muy alta resolución. Las condiciones iniciales y de contorno también son las del modelo IFS del ECMWF, generándose rejillas anidadas con resoluciones de 6, 2 y 1 km y un alcance de la predicción de hasta 72 horas. En el WRF se puso en marcha una parametrización de las rachas de viento en alta montaña que mejora en gran medida la predicción de rachas tanto en el Observatorio de Izaña como en el Observatorio del Pico del Teide (figs. 13.9 y 13.10).

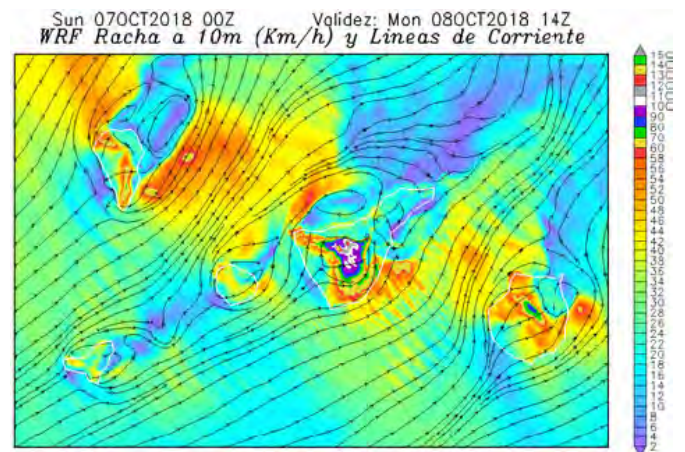


Figura 13.9. Gráfico de ejemplo de la velocidad de racha de viento prevista, sombreada en colores, superpuesta con líneas de corriente para un episodio de alta velocidad del viento el 8 de octubre de 2018 a las 14 UTC.

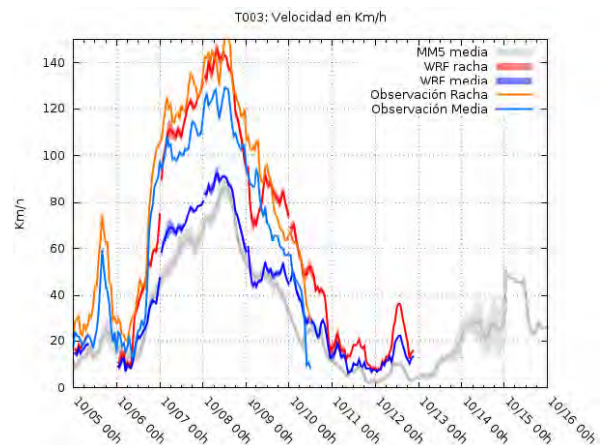


Figura 13.10. Ejemplo de gráfico de validación que muestra las velocidades del viento y de las rachas, observadas y previstas, del 5 al 16 de octubre de 2018. También se traza la velocidad del viento del MM5.

### 13.5.4 Resultados numéricos posprocesados

Las salidas de estos modelos ofrecen el valor añadido de la reducción de escala dinámica de las predicciones del modelo IFS para la compleja topografía de las islas Canarias. Algunos tipos de campos numéricos posprocesados permiten comprender



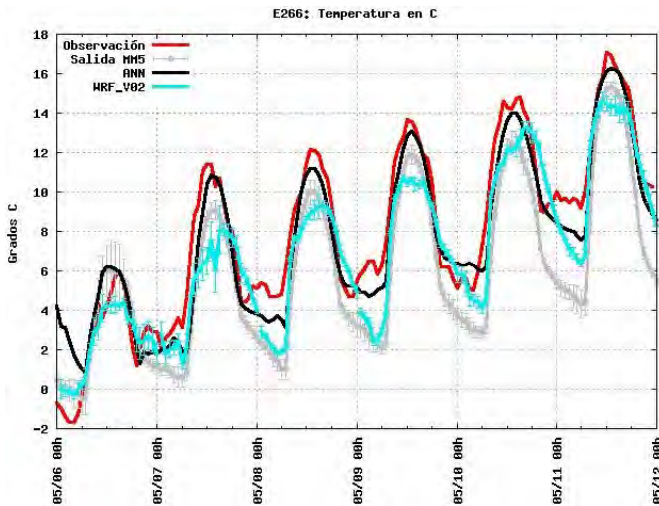


Figura 13.11. Ejemplo de mejora en la temperatura a 2 m prevista utilizando la red neuronal artificial del 6 al 12 de mayo de 2018. Las líneas negras representan los valores de la red neuronal, mientras que las líneas rojas, grises y azules representan, respectivamente, las observaciones y las salidas directas de los modelos MM5 y WRF.

mejor las situaciones atmosféricas. Además de estas salidas se ha implementado una red neuronal que mejora la predicción de las variables locales de la temperatura y el viento en el observatorio, otorgando una exactitud adicional a la predicción *in situ* (fig. 13.11). Todos estos resultados se presentan utilizando un servidor web instalado en el grupo.

### 13.5.5 Modelo FLEXTRA

El modelo de trayectorias flexibles (FLEXTRA) se halla instalado en un servidor dedicado y simula retrotrayectorias de 10 días que llegan al Observatorio Atmosférico de Izaña calculadas en varios niveles. Las retrotrayectorias proporcionan información relevante sobre el transporte y las regiones de origen de las masas de aire que afectan a los diversos componentes y parámetros medidos en el IZO. Se han calculado y archivado las retrotrayectorias, en intervalos de seis horas, para todo el periodo 1979-2018.

La información gráfica adicional que representa la trayectoria y su altura se muestra utilizando un servidor web como referencia rápida para seleccionar episodios particulares (figura 13.12). Se puede solicitar una representación posterior más exacta utilizando un servidor basado en la web McIDAS (fig. 13.13).

### 13.5.6 Modelo HYSPLIT

El modelo híbrido lagrangiano de trayectoria integrada de partícula única (HYSPLIT) se halla instalado en el mismo servidor que el modelo FLEXTRA para simular retrotrayectorias de 10 días utilizando el modelo del Sistema de predicción global (GFS) de los Centros Nacionales de Predicción del Medio Ambiente (NCEP) como entrada de datos. Se han calculado y archivado las retrotrayectorias, en intervalos de seis horas, para todo el periodo 1949-2018.

El modelo HYSPLIT también está instalado en el sistema de grupos usando datos de salida del MM5 y se ejecuta en modo de dispersión utilizando la configuración del programa en paralelo (fig. 13.14).

Backward Trajectory 20180925 060000  
02400

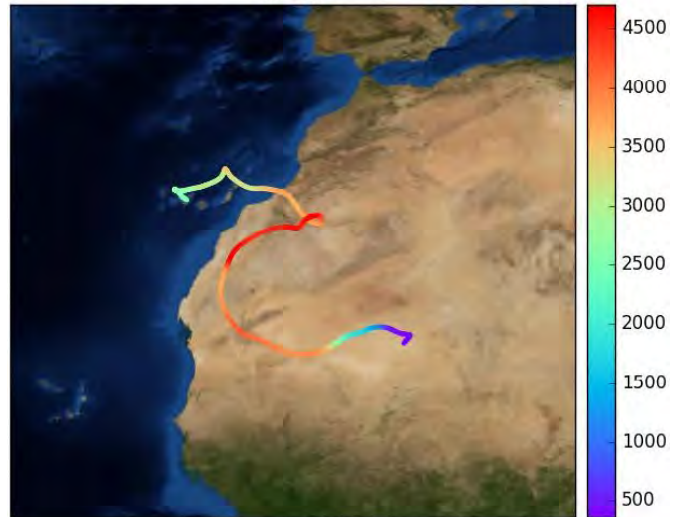


Figura 13.12. Imagen que representa el rastro y la altura de una retrotrayectoria FLEXTRA cuyo seguimiento finaliza el 25/09/2018 a las 06 UTC.

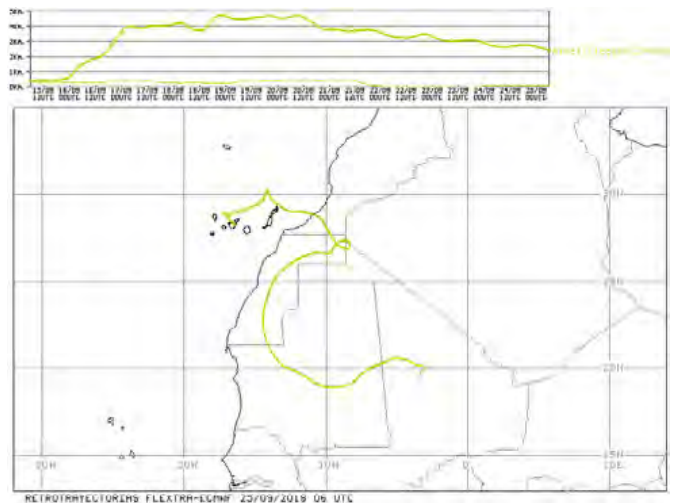


Figura 13.13. Representación gráfica de una retrotrayectoria FLEXTRA cuyo seguimiento finaliza el 25/09/2018 a las 06 UTC.

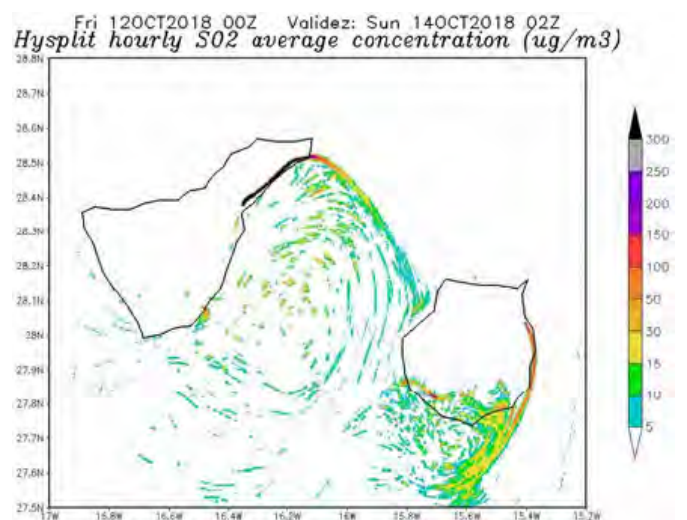


Figura 13.14. Contornos de sombreado de concentración media de SO<sub>2</sub> previstos por el modelo Hysplit el día 14/10/2018 a 02 UTC.

## 13.6 Resumen de actividades realizadas durante el periodo 2017-2018

### 13.6.1 Registros meteorológicos a largo plazo

Se han actualizado las series de temperatura media, precipitación acumulada, duración de la insolación, humedad relativa media y presión atmosférica media en el Observatorio Atmosférico de Izaña para los años 2017 y 2018 (fig. 13.16). De manera adicional, se han recuperado datos meteorológicos históricos procedentes de diversas fuentes con el fin de completar la serie de datos de la estación de observación de largo plazo de Izaña; actualmente, solo falta por completar el 0,9 % de los días entre 1916 y 2018. Esta serie contiene más de un siglo de datos meteorológicos y constituye la serie climática ininterrumpida más antigua de Canarias.

En la serie de temperatura media anual del IZO (fig. 13.16a), el ritmo de aumento de la temperatura se mantiene en 0,15 °C por década, coherente con la tendencia del calentamiento global. Esta serie es especialmente relevante ya que la estación está en altitud y es representativa de las condiciones de una troposfera casi libre. Los años 2017 y 2018 se clasifican de manera diferente con respecto a la serie de referencia 1961-90. Así, el año 2017 constituye, junto con el 2010, los dos años más cálidos de la serie de 103 años con una temperatura media anual de 11,6 °C (en el quinto quintil, muy cálido). En cambio, 2018 tiene una temperatura media anual de 9,5 °C y se clasifica como frío (en el segundo quintil).

Por lo que respecta a la precipitación total anual (fig. 13.16b), tanto 2017 como 2018 tienen tasas de precipitación menores que la media de 1961-90. La precipitación total anual de 2017 es de solo 142,7 mm y se clasifica como muy seca (en el primer quintil), mientras que en 2018 la precipitación total anual alcanzó un valor de 359,5 mm y se clasifica como normal (en el tercer quintil).

La serie de duración de la insolación total anual también mantiene una tendencia creciente significativa de 36,4 h por década (fig. 13.16c). Tanto 2017 como 2018 tienen una duración total anual de la insolación superior a 3800 h (> 85 % del número máximo posible de horas). En 2017, la duración total anual de la insolación alcanzó las 3857,3 h, muy cerca del valor máximo del récord de largo plazo obtenido en 2015.

La serie de humedad relativa media anual (fig. 13.16d) continúa la tendencia descendente que se inició después de los altos valores de la segunda mitad del siglo XX. La evolución de la presión atmosférica media anual (fig. 13.16e) se mantiene bastante estable desde principios del siglo XXI, tras la oscilación multidecenal observada en el siglo pasado.

Se realizó un análisis para comparar las condiciones meteorológicas de 2017 y 2018 en el IZO con los registros meteorológicos a largo plazo. Por ejemplo, 2017 rompió los récords de las temperaturas medias mensuales más altas de junio y octubre (tabla 13.1).

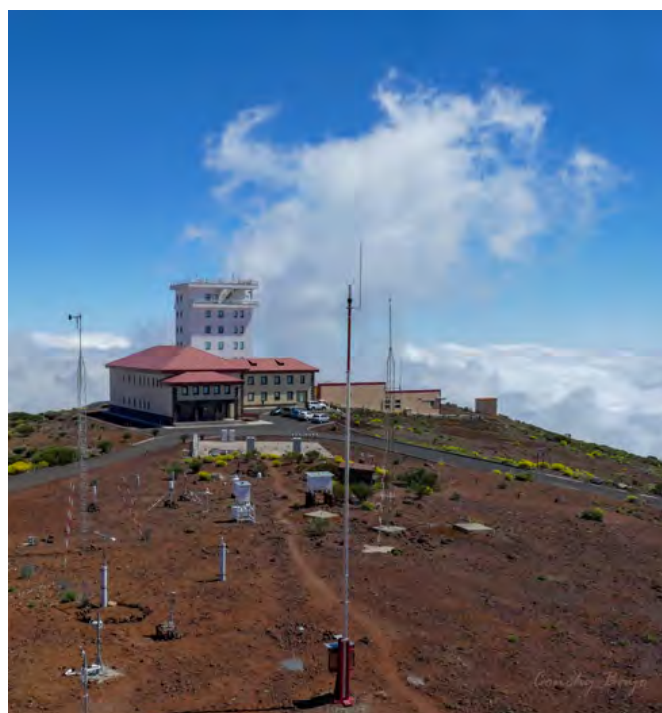
Asegurar la calidad y continuidad de las observaciones dentro de las redes nacionales e internacionales de observación meteorológica y climatológica en las que participa el CIAI necesita

llevar a cabo unas labores de mantenimiento y vigilancia constantes de la instrumentación meteorológica y la posterior verificación de la calidad de los datos meteorológicos del IZO, el SCO, el BTO y el TPO.

Las redes en las que participa el CIAI son la Red de observación sinóptica (Región I de la OMM, número de indicativo sinóptico 60010), incluida en la red de observación de superficie del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC), la Red de vigilancia climatológica de AEMET (número de indicativo climatológico C430E) y la Red de referencia para la medición de radiaciones en superficie (BSRN; estación número 61).

**Tabla 13.1. Condiciones meteorológicas de 2017 y 2018 en el IZO en comparación con los registros meteorológicos del periodo 1916-2018**

Episodio extremo	Dato	Fecha
Velocidad media en 10 min máxima más alta en mayo	94 km/h	9/5/2017
Temperatura mínima diaria a 15 cm de profundidad más alta en agosto	20,6 °C	20/8/2017
Precipitación en 10 min máxima en enero	3,6 mm	31/1/2018
Temperatura media mensual más alta en junio	17,2 °C	Jun 2017
Temperatura media mensual más alta en octubre	13,2 °C	Oct 2017



**Figura 13.15. Estaciones meteorológicas del Observatorio Atmosférico de Izaña.**



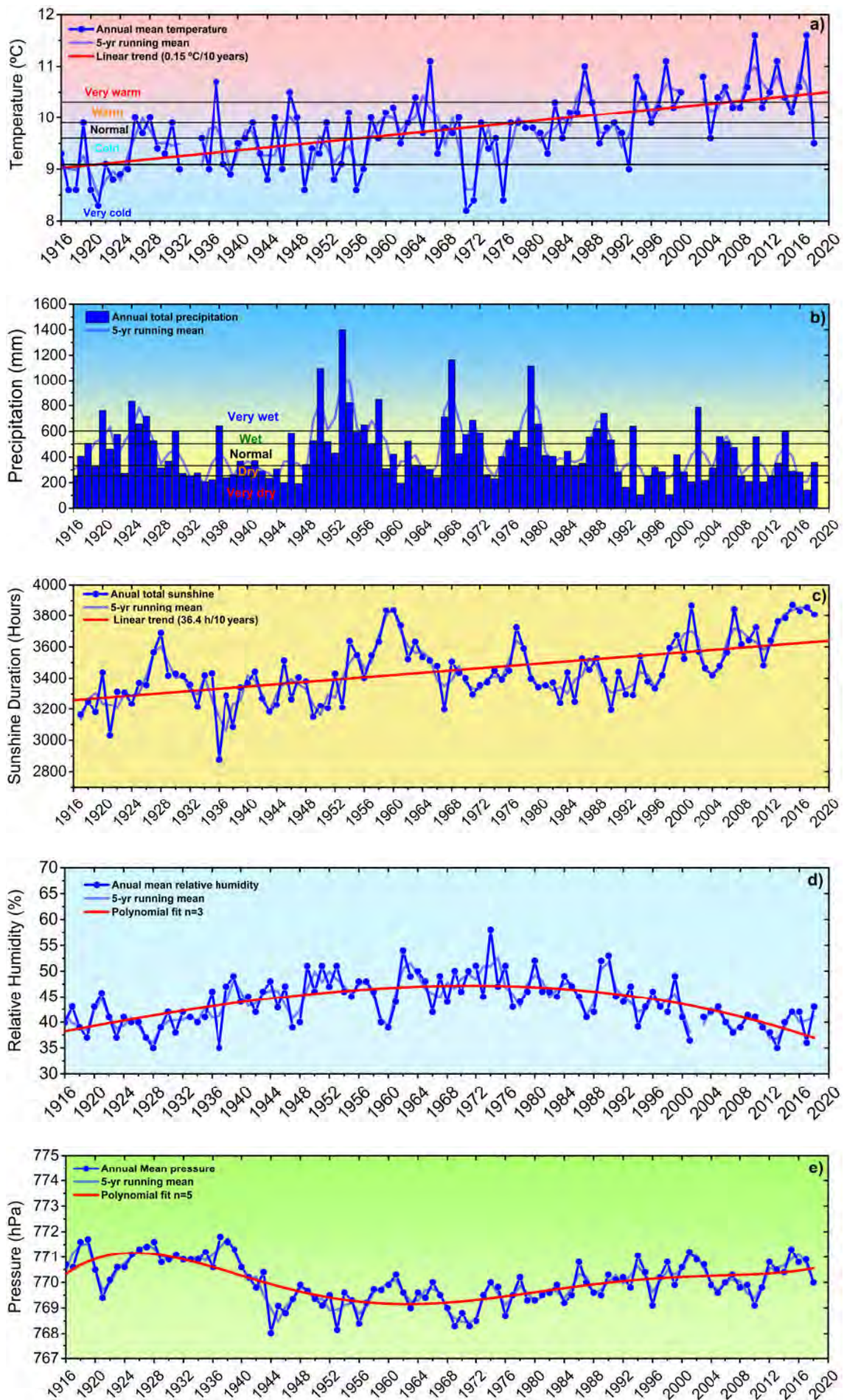


Figura 13.16. Serie temporal (1916-2018) de a) temperatura media anual, b) precipitación total anual, c) duración de la insolación anual, d) humedad relativa media anual y e) presión media anual en el Observatorio Atmosférico de Izaña.



### 13.6.2 Predicción y análisis de episodios de tiempo adverso

Entre las actividades adicionales del programa de meteorología figuran la predicción y el análisis posterior de episodios de tiempo adverso que pueden afectar las operaciones de los diversos programas de observación que tienen lugar en los cuatro observatorios del CIAI. Se presta especial atención al IZO, que se ve frecuentemente afectado por condiciones adversas como vientos muy fuertes, lluvia y nieve intensa, rayos, heladas y cencelladas, que pueden causar daños importantes a las instalaciones. A continuación se destacan algunos de los episodios más importantes registrados durante el periodo 2017-2018:

El 12 de febrero de 2017, una profunda depresión al norte de Canarias ocasionó en Izaña un fuerte temporal de viento con rachas superiores a 120 km/h que persistieron durante casi 6 horas, una velocidad media máxima en 10 min de 113,4 km/h y una racha máxima de 141,5 km/h. La presión atmosférica cayó a un valor de 746,8 hPa y la temperatura descendió hasta un mínimo de -4,7 °C (fig. 13.17).

Entre el 17 y el 19 de marzo de 2017, una baja fría centrada al norte de Canarias dio lugar a un episodio de nevadas moderadas en el observatorio, con un acumulado de 20,4 mm y una temperatura mínima de -3,4 °C (fig. 13.18).

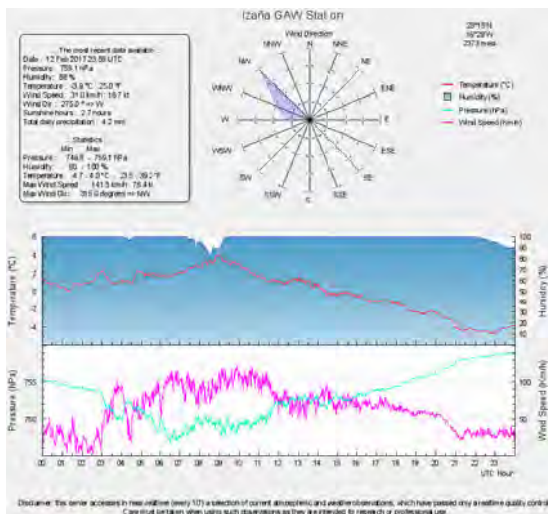


Figura 13.17. Gráficos de la temperatura, humedad, presión y velocidad del viento registradas el 12 de febrero de 2017.

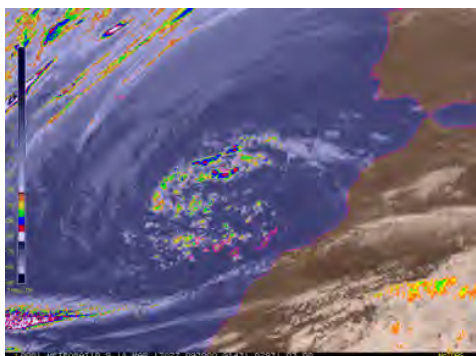


Figura 13.18. Imagen Meteosat-10 (canal IR 10.8) del 18/03/2017 a las 09:30 UTC.

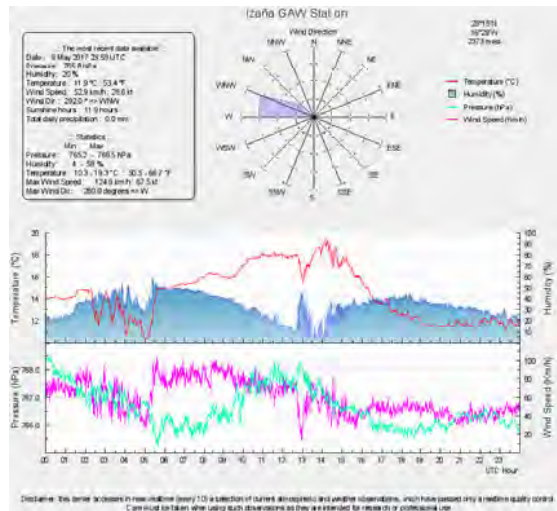


Figura 13.19. Gráficos de la temperatura, humedad, presión y velocidad del viento registradas el 9 de mayo de 2017.

El 9 de mayo de 2017 se produjo una tormenta como consecuencia de la interacción de una baja profunda y extensa al NW de Canarias y la corriente en chorro subtropical, en la que las rachas de viento alcanzaron los 124,9 km/h (08:40 UTC) (fig. 13.19).

Los días 11 y 12 de diciembre de 2017, un frente frío muy activo asociado a una baja profunda ocasionó unas lluvias totales de 51,6 mm en poco más de 24 h, lo que representó el único episodio de precipitación notable de todo el año (fig. 13.20).

El 8 de enero de 2018, una baja fría cuasiestacionaria centrada al NE de Canarias dio lugar a un temporal de invierno que se prolongó durante varios días con la entrada de aire muy frío y una segunda baja se produjo en una posición similar el 7 de febrero (fig. 13.21).

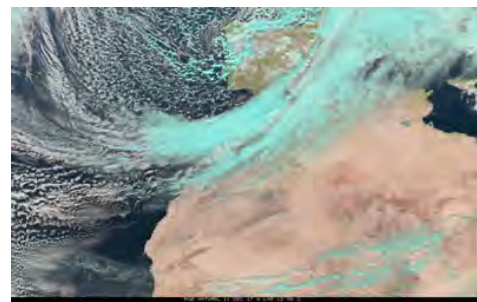


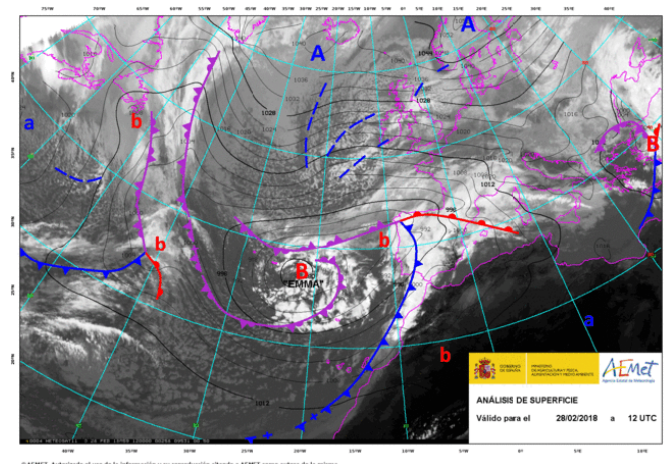
Figura 13.20. Imagen Meteosat RGB natural (canales VIS 0.6, VIS 0.8 e IR 1.6) del 11/12/2017 a las 12 UTC.



Figura 13.21. Fotografía de la acumulación de nieve registrada en el observatorio el 8 de febrero de 2018.

Las temperaturas se mantuvieron ininterrumpidamente por debajo de 0 °C durante más de 10 días y hubo una acumulación significativa de cencellada. La velocidad máxima del viento alcanzó los 157 km/h el 8 de febrero a las 05:10 UTC, con una temperatura mínima de -6,2 °C el 30 de enero a las 00:00 UTC, y 122,6 mm de precipitación acumulada durante todo el episodio.

El 28 de febrero de 2018 (fig. 13.22), tuvo lugar un fuerte temporal de 2 días, ocasionado por una profunda depresión situada sobre las islas Azores que fue nombrada como «tormenta de alto impacto» por el Servicio Meteorológico Portugués. El 1 de marzo, a las 02:40 UTC, se registró una racha máxima de 158 km/h.

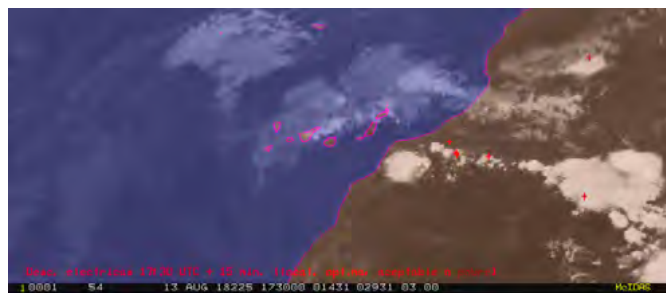


**Figura 13.22.** Mapa de presión atmosférica y frentes al nivel del mar superpuesto sobre la imagen infrarroja de Meteosat del 28 de febrero de 2018, preparado por AEMET.

Los días 20 y 21 de abril de 2018 se produjo un episodio anómalo de viento fuerte y temperaturas frías, con una racha máxima de 112,3 km/h el 20/4/2018 a las 17:50 UTC, y una temperatura mínima de -5,5 °C a las 20:10 UTC.

El 13 de agosto de 2018, una banda convectiva procedente de África originó una actividad anómala de tormentas de verano en Canarias, registrándose una precipitación de 9,4 mm en el observatorio (fig. 13.23).

Los días 24 y 25 de octubre de 2018, una banda de convergencia a niveles medios situada en la circulación sur de una baja al NW de Canarias, produjo inestabilidad convectiva con actividad eléctrica que dio lugar a lluvias intensas en determinados momentos, acumulando un total de 51,6 mm de lluvia sobre Izaña.



**Figura 13.23.** Imagen Meteosat-10 (canal IR 10.8) del 13/08/2018 a las 17:30 UTC.

## 13.7 Colaboraciones destacadas con otros programas científicos

Las colaboraciones con otros programas científicos durante el periodo 2017-2018 incluyen las siguientes:

Se ha colaborado con el Cabildo Insular de Tenerife para estudiar el impacto de la temperatura, las precipitaciones y la nubosidad en el ecosistema de Las Cañadas del Teide utilizando una colección de un año de datos recogidos de las simulaciones históricas del MM5 en alta resolución.

Se han incluido en un informe enviado a EUMETSAT las estadísticas estacionales de velocidad del viento y nubosidad simultáneas basadas en salidas históricas del MM5 en alta resolución para evaluar El Hierro como potencial emplazamiento de una boya de calibración satelital.

Se han realizado varias modificaciones de las rutinas del programa FLEXTRA para tener en cuenta las propiedades de las partículas. Se ha realizado una serie de simulaciones para evaluar el impacto en los resultados en colaboración con los grupos de Gases de efecto invernadero y ciclo del carbono y de Aerosoles.

Se ha realizado un experimento para evaluar el impacto de la salida horaria del modelo FLEXTRA en la captura de episodios específicos del 23 de agosto al 1 de septiembre de 2010 en colaboración con el grupo de Aerosoles.

Se ha diseñado y creado una base de datos con datos de la red de observación de la calidad del aire del Gobierno de Canarias y predicciones multimodelo del SDS-WAS interpoladas para los emplazamientos de la red de medición de la calidad del aire. Esta información se utilizará, en colaboración con el Centro de Supercomputación de Barcelona, en un proyecto de estrategia de aprendizaje automático para mejorar la calidad de los valores de PM10 previstos debido a las intrusiones de polvo africano.

Se ha diseñado el nuevo índice ARTI (índice que da cuenta del tiempo de residencia de las partículas de polvo africano), basado en las retrotrayectorias del modelo FLEXTRA, para distinguir entre una alta probabilidad de días de intrusión de polvo africano y días sin polvo en un lugar específico. Este índice ha sido utilizado ampliamente por varios grupos del CIAI.

Se han implementado algoritmos para predecir el ángulo de visión desde la posición de recepción de la antena del sistema de ozonosondeos y el globo de conducción, a fin de asegurar la cobertura de radio durante el vuelo. Este software, junto con el planificador de vuelos en globo de gran altitud de ASTRA, pudo aumentar la tasa de vuelos satisfactorios hasta casi el 100% y es utilizado habitualmente por el grupo de Ozono y radiación UV.

Para la campaña MEGEI-MAD llevada a cabo en Madrid del 24 de septiembre al 7 de octubre de 2018, en colaboración con el grupo FTIR, se han realizado predicciones meteorológicas *in situ* y retrotrayectorias específicas con HYSPLIT y FLEXTRA (más detalles en el apartado 7.3.2 y en García *et al.*, 2018a).



Se ha desarrollado un software especializado para extraer información de sondeos atmosféricos regulares con el fin de procesar la cantidad de agua precipitable en la vertical de acuerdo con las necesidades de los grupos de Radiación y de Vapor de agua.

Participamos en el curso de formación sobre «Aerosoles atmosféricos y polvo mineral» organizado por el CIAI, realizado del 20 de junio al 6 de julio de 2017. Presentamos un resumen de las herramientas de alta resolución que utiliza el grupo de Meteorología para mejorar las predicciones operativas del emplazamiento de Izaña con especial énfasis en las herramientas de trayectorias lagrangianas utilizadas, tanto FLEXTRA como HYSPLIT, mostrando en detalle las configuraciones del sistema en ejecución.

Participamos como coautores en varias presentaciones del Noveno taller internacional sobre tormentas de arena/polvo y lluvia de polvo asociada, del 22 al 24 de mayo de 2018 (más detalles en la sección 26) y en una presentación en la Undécima conferencia internacional sobre calidad del aire: ciencia y aplicación, del 12 al 16 de marzo de 2018:

- Long-term aerosol optical depth (1941-2017) at the Izaña Observatory (García *et al.*, 2018b).
- Short-term variations of the Saharan Air Layer atmospheric properties over the North Atlantic driven by NAFDI: Summer 2017 case analysis (Cuevas *et al.*, 2018).
- Northern African sources of mineral dust from measurements at the Izaña GAW Observatory (López-Solano *et al.*, 2018).
- High variability of dust composition in the Saharan Air Layer (Rodríguez *et al.*, 2018).
- Air quality trends in a coastal city, Santa Cruz de Tenerife (Milford *et al.*, 2018).

### 13.8 Referencias

Cuevas, E., Bustos, J. J., Rodríguez, S., Marrero, C., Reyes, E., García, R. D., García, O. E., Barreto, A. and Guirado-Fuentes, C. Short-term variations of the Saharan Air Layer atmospheric properties over the North Atlantic driven by NAFDI: Summer 2017 case analysis. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.

García, O., E. Sepúlveda, J.-A. Morgui, C. Estruch, R. Curcoll, M. Frey, C. Schneider, R. Ramos, C. Torres, S. León, F. Hase, A. Butz, C. Toledano, E. Cuevas, T. Blumenstock, C. Pérez, M. Guevara, J. J. Bustos and V. Carreño. MEGEI-MAD: Monitoring of Greenhouse Gases Concentrations in Madrid. Integrated

Global Greenhouse Gas Information System (IG3IS) Symposium, 13-15 November, WMO, Geneva, Switzerland, 2018a.

García, R. D., O. E. García, E. Cuevas and J. J. Bustos. Long-term aerosol optical depth (1941-2017) at the Izaña Observatory. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018b.

López-Solano, J., Rodríguez, S., Pérez García-Pando, C., Sosa, E., García, M. I., Bustos, J. J., Marrero, C. and Alonso-Pérez, S. Northern African sources of mineral dust from measurements at the Izaña GAW Observatory. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.

Milford, C., Cuevas, E., Marrero, C., Bustos, J. J., Torres, C. Air quality trends in a coastal city, Santa Cruz de Tenerife. 11th International Conference on Air Quality - Science and Application, Barcelona, Spain, 12-16 March 2018.

Milford, C., Marrero, C., Martín, C., Bustos, J. and Querol, X. Forecasting the air pollution episode potential in the Canary Islands. *Adv. Sci. Res.* 2, 21-26, 2008.

Rodríguez, S., Lucarelli, F., Nava, S., García, M. I., López-Solano, J., Marrero, C., Cuevas, E., Prats, N. High variability of dust composition in the Saharan Air Layer. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.

### 13.9 Personal

Carlos Luis Marrero de la Santa Cruz (AEMET; jefe de programa);

Juan José Bustos (AEMET; investigador científico);

Ramón Ramos (AEMET; jefe de infraestructuras, responsable del programa de Observación meteorológica);

Cándida Hernández (AEMET; observadora meteorológica y técnica de la VAG);

Concepción Bayo (AEMET; observadora meteorológica y técnica de la VAG);

Virgilio Carreño (AEMET; observador meteorológico y técnico de la VAG);

Dr. Fernando de Ory (AEMET; observador meteorológico y técnico de la VAG), dejó el CIAI en octubre de 2018;

Sergio Afonso (AEMET; observador meteorológico y técnico de la VAG);

Dr. Emilio Cuevas (AEMET; investigador científico);

Dra. Rosa García (AIR LIQUIDE; investigadora científica).



## 14 Aeorobiología

El programa de Aerobiología del CIAI se lleva a cabo de forma conjunta por el CIAI-AEMET y el Laboratorio de Análisis Palinológicos (LAP) de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) con financiación parcial de Air Liquide España S.A. a través del proyecto Eolo-PAT. Este programa se inició en 2004 en el SCO con el objetivo de mejorar el conocimiento del contenido de polen y esporas en el aire de Santa Cruz de Tenerife y su relación con la prevalencia de la alergia respiratoria. Se puso en marcha una segunda estación aerobiológica en el IZO gracias al apoyo financiero del proyecto del Plan Nacional de I + D CGL-2005-07543 («Origen, transporte y deposición de aerosoles atmosféricos africanos en Canarias y la península ibérica a partir de la caracterización de sus productos químicos y aerobiológicos»). Estos dos proyectos también contribuyen a mejorar el conocimiento de la fracción biológica de los aerosoles en el seno del programa de la VAG.

### 14.1 Principales objetivos científicos

Los principales objetivos científicos de este programa son:

- Producir datos normalizados de alta calidad sobre el componente biológico del aerosol atmosférico.
- Establecer la biodiversidad y la cantidad de polen y esporas de hongos registrados en el aire de Santa Cruz de Tenerife e Izaña.
- Establecer el patrón de distribución a lo largo del año del polen y las esporas de hongos en el aire en Santa Cruz de Tenerife e Izaña, a través de los espectros diarios.
- Situar a Canarias en el mapa del panorama aerobiológico mundial, junto a las redes españolas (REA; SEAIC) y europea (EAN).
- Proporcionar información útil para médicos especialistas y pacientes alérgicos.
- Elaborar la lista de los taxones alergénicos de polen y esporas en el aire de Santa Cruz de Tenerife e Izaña que ayude a los médicos a diagnosticar la etiología de las alergias y a racionalizar el uso de los medicamentos.
- Producir alertas semanales sobre el polen y las esporas alergénicas para los próximos días para ayudar a los médicos en la detección de alergias y ayudar a las personas alérgicas a planificar mejor sus actividades y a mejorar la calidad de vida.

Una descripción detallada de este programa se puede encontrar en Belmonte *et al.* (2011).

### 14.2 Programa de mediciones

El instrumento de muestreo es un captador de esporas VPPS 2000 del tipo Hirst con registrador de 7 días (Lanzoni s.r.l.) (fig. 14.1) y el instrumento de análisis es un microscopio óptico de 600 aumentos (tabla 3.2). El análisis de polen y esporas se realiza mediante métodos palinológicos siguiendo las recomendaciones del manual de calidad y gestión de la Red Española de Aerobiología y las recomendaciones de la Sociedad Europea de Aerobiología (Galán *et al.*, 2017). El programa de muestreo en el SCO es continuo durante todo el año, mientras que las muestras solo se recogen en el IZO entre abril-mayo y noviembre debido a las condiciones meteorológicas adversas durante el resto del año.



Figura 14.1. Captador de esporas VPPS 2000 del tipo Hirst con registrador de 7 días en el SCO (izquierda) y el IZO (derecha).

### 14.3 Resumen de los resultados más destacados durante 2017

En las figs. 14.2 y 14.3 se muestra la dinámica anual de los taxones de polen total y esporas de hongos totales en Santa Cruz de Tenerife e Izaña. Los datos mostrados corresponden a concentraciones medias semanales.

Las gráficas muestran que el curso anual de concentración total de polen y esporas de hongos en el SCO es muy diferente del observado en el IZO, que presenta una gran variación interanual dependiendo de condiciones meteorológicas como la temperatura y la precipitación. Mientras que en el SCO la concentración de polen muestra un máximo ancho que abarca una extensa temporada de primavera (febrero a junio), en el IZO tienen lugar concentraciones más altas de polen en dos meses (generalmente de mayo a finales de junio, pero adelantado a abril y mayo en 2017) con valores que pueden ser mucho más altos que los registrados para el SCO, aunque este no fue el caso en 2017. El año 2017 mostró polinizaciones retardadas con respecto a los datos medios (excepto *Myrica* y *Erica*) y concentraciones por debajo de los valores medios la mayor parte del año en el SCO y el IZO. El polen de *Brassicaceae* perdió importancia en el IZO (fig. 14.2 y tablas 14.1 y 14.2).

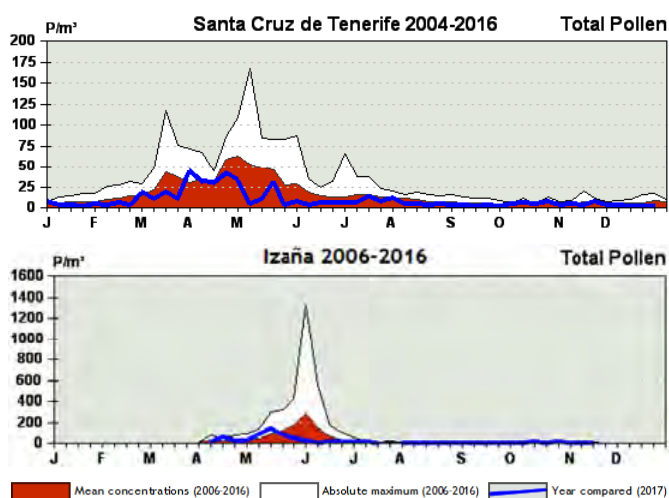


Figura 14.2. Dinámica de las concentraciones medias semanales de polen total en Santa Cruz de Tenerife (superior) e Izaña (inferior) durante 2017 en comparación con los datos medios del periodo 2004-2016.

**Tabla 14.1. Espectro de polen y esporas en el aire para el SCO, año 2017.**

SANTA CRUZ DE TENERIFE

1 de enero de 2017 - 31 de diciembre de 2017

	AÑO		SEMANA		DÍA	
	Número P*/día/m <sup>3</sup>	Porcentaje %	Máximo P/m <sup>3</sup>	Semana núm.	Máximo P/m <sup>3</sup>	Fecha del máximo dd/mm/aaaa
POLEN TOTAL	3163	100	44,5	13	158,2	22/14/2017
POLEN DE ÁRBOLES	1431	45,2	22,2	16	84,0	22/14/2017
<i>Acacia</i>	0	0,0	0,0	-	0,0	-
<i>Ailanthus</i>	1	0,0	0,1	20	0,7	17/05/2017; 01/12/2017
<i>Alnus</i>	0	0,0	0,0	-	0,0	-
<i>Castanea</i>	15	0,5	0,8	24	3,5	15/06/2017
<i>Casuarina</i>	19	0,6	1,6	47	4,9	21/11/2017
CUPRESSACEAE	90	2,8	1,5	7	7,0	16/03/2017
<i>Eucalyptus</i>	29	0,9	0,8	12	5,6	23/03/2017
<i>Ilex</i>	0	0,0	0,0	-	0,0	-
MORACEAE	55	1,7	1,6	30	9,8	30/05/2017
<i>Myrica</i>	679	21,5	20,8	16	82,6	22/04/2017
OLEACEAE	78	2,5	6,7	20	21,0	17/05/2017
PALMERAS	221	7,0	5,5	28	12,6	24/07/2017
<i>Pinus</i>	81	2,6	4,3	15	18,9	10/04/2017
<i>Platanus</i>	8	0,3	0,5	7	2,1	16/02/2017
<i>Populus</i>	1	0,0	0,1	22	0,7	02/06/2017
<i>Quercus</i> total	16	0,5	0,8	15	4,2	10/04/2017
<i>Salix</i>	11	0,3	0,7	5	2,8	01/02/2017
<i>Schinus</i>	125	3,9	2,5	46	16,8	14/11/2017
<i>Tilia</i>	0	0,0	0,0	-	0,0	-
<i>Ulmus</i>	0	0,0	0,0	-	0,0	-
Otros pólenes de árboles	2	0,0	-	-	-	-
POLEN DE ARBUSTOS	430	13,6	12,7	13	47,6	30/03/2017
CISTACEAE	0	0,0	0,0	-	0,0	-
ERICACEAE	400	12,6	12,0	13	46,9	30/03/2017
<i>Ricinus</i>	26	0,8	0,5	1	1,4	04/01/2017; 20/01/2017; 09/02/2017
<i>Pistacia</i>	2	0,1	0,1	10	0,7	12/03/2017; 02/04/2017; 25/05/2017
Otros pólenes de arbustos	2	0,1	-	-	-	-
POLEN DE HIERBAS	1175	37,2	18,7	20	44,1	17/05/2017
COMPOSITAE total (incl. <i>Artemisia</i> )	405	12,8	10,5	20	35,0	30/04/2017; 17/05/2017
<i>Artemisia</i>	365	11,5	10,3	20	35,0	30/04/2017
BORAGINACEAE	22	0,7	2,5	1	8,4	07/01/2017
CYPERACEAE	13	0,4	0,4	41	1,4	07/01/2017; 14/10/2017; 25/11/2017
CRASSULACEAE	1	0,0	0,0	1	0,7	01/01/2017
CRUCIFERAE	13	0,4	0,2	2	1,4	02/03/2017
<i>Euphorbia</i>	0	0,0	0,0	-	0,0	-
GRAMINEAE (hierbas)	159	5,0	2,3	17	5,6	10/07/2017
<i>Mercurialis</i>	18	0,6	0,6	11	2,1	14/03/2017; 31/03/2017
<i>Plantago</i>	41	1,3	1,0	10	5,6	31/03/2017
<i>Rumex</i>	69	2,2	1,7	11	3,5	16/03/2017
CHENOPODIACEAE/AMARANTHACEAE	169	5,4	3,5	43	10,5	27/10/2017
URTICACEAE	178	5,6	3,8	13	5,6	04/03/2017; 27/03/2017
Otros pólenes de hierbas	89	2,9	-	-	-	-

	AÑO		SEMANA		DÍA	
	Número S*/día/m <sup>3</sup>	Porcentaje %	Máximo S/m <sup>3</sup>	Semana núm.	Máximo S/m <sup>3</sup>	Fecha del máximo dd/mm/aaaa
ESPORAS TOTALES	102 847	100,0	1455,6	20	4121,6	17/05/2017
<i>Alternaria</i>	1425	1,4	27,2	20	75,6	17/05/2017
Ascosporas	27 796	27,0	239,2	43	1226,4	24/10/2017
<i>Aspergillus/Penicillium</i>	2142	2,1	53,6	50	294,0	11/12/2017
<i>Cladosporium</i>	58 971	57,3	1230,4	20	3668,0	17/05/2017
<i>Ustilago</i>	4721	4,6	56,4	20	210,0	17/05/2017
Otras esporas de hongos	7793	7,6	-	-	-	-

**Tabla 14.2. Espectro de polen y esporas en el aire para el IZO, año 2017.**

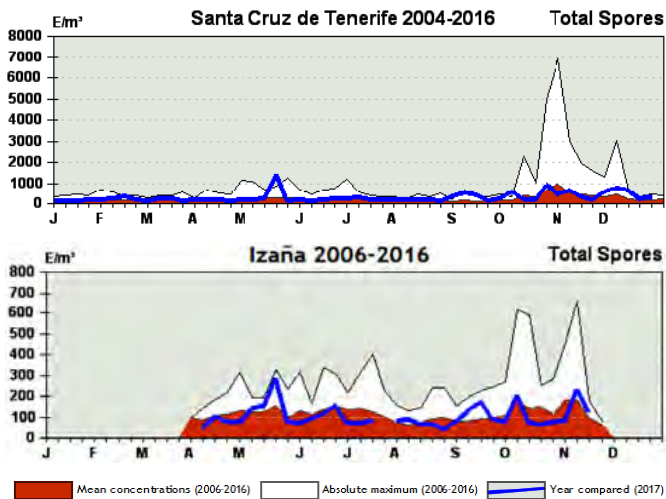
IZAÑA

3 de abril de 2017 - 19 de noviembre de 2017

	AÑO		SEMANA		DÍA	
	Número P*/día/m <sup>3</sup>	Porcentaje %	Máximo P/m <sup>3</sup>	Semana núm.	Máximo P/m <sup>3</sup>	Fecha del máximo dd/mm/aaaa
POLEN TOTAL	4070	100	135,8	19	310,8	10/05/2017
POLEN DE ÁRBOLES	683	16,8	40,7	15	97,3	13/14/2017
<i>Acacia</i>	0	0,0	0,0	-	0,0	-
<i>Ailanthus</i>	0	0,0	0,0	-	0,0	-
<i>Alnus</i>	0	0,0	0,0	-	0,0	-
<i>Castanea</i>	18	0,4	1,6	26	4,9	02/07/2017
<i>Casuarina</i>	1	0,0	0,1	41	0,7	13/10/2017
CUPRESSACEAE	9	0,2	0,3	43	1,4	13/04/2017; 26/10/2017
<i>Eucalyptus</i>	0	0,0	0,0	-	0,0	-
<i>Ilex</i>	1	0,0	0,1	19	0,7	11/05/2017
MORACEAE	0	0,0	0,0	-	0,0	-
<i>Myrica</i>	298	7,3	16,7	17	53,2	25/04/2017
OLEACEAE	6	0,2	0,3	15; 20	1,4	16/04/2017
PALMERAS	19	0,5	1,7	43	11,9	28/10/2017
<i>Pinus</i>	323	7,9	26,6	15	67,2	13/04/2017
<i>Platanus</i>	1	0,0	0,1	15	0,7	13/04/2017
<i>Populus</i>	0	0,0	0,0	-	0,0	-
<i>Quercus</i>	6	0,1	0,3	22	1,4	04/06/2017
<i>Salix</i>	0	0,0	0,0	-	0,0	-
<i>Schinus</i>	1	0,0	0,1	23	0,7	10/06/2017
<i>Tilia</i>	0	0,0	0,0	-	0,0	-
<i>Ulmus</i>	0	0,0	0,0	-	0,0	-
Otros pólenes de árboles	2	0,1	-	-	-	-
POLEN DE ARBUSTOS	49	1,2	3,3	15	7,0	14/04/2017
CISTACEAE	0	0,0	0,0	-	0,0	-
ERICACEAE	48	1,2	3,3	15	7,0	14/04/2017
<i>Ricinus</i>	0	0,0	0,0	-	0,0	-
<i>Pistacia</i>	0	0,0	0,0	-	0,0	-
Otros pólenes de arbustos	1	0,0	-	-	-	-
POLEN DE HIERBAS	3230	79,4	131,1	19	295,4	10/05/2017
COMPOSITAE total (incl. <i>Artemisia</i> )	41	1,0	2,0	15	7,7	16/04/2017
<i>Artemisia</i>	29	0,7	1,7	15	5,6	16/04/2017
BORAGINACEAE	17	0,4	1,1	14	7,7	03/04/2017
CYPERACEAE	12	0,3	0,7	41	2,1	14/10/2017
CRASSULACEAE	0	0,0	0,0	-	0,0	-
CRUCIFERAE	2832	69,6	129,8	19	292,6	10/05/2017
<i>Euphorbia</i>	0	0,0	0,0	-	0,0	-
GRAMINEAE (hierbas)	81	2,0	1,5	24	5,6	18/06/2017; 01/08/2017
<i>Mercurialis</i>	2	0,1	0,2	15	0,7	03/04/2017; 10/04/2017; 14/04/2017
<i>Plantago</i>	5	0,1	0,2	15	0,7	13/04/2017; 14/04/2017; 17/05/2017
<i>Rumex</i>	25	0,6	1,1	15	3,5	17/05/2017
CHENOPODIACEAE/AMARANTHACEAE	113	2,8	4,0	41	11,2	15/10/2017
URTICACEAE	97	2,4	2,9	15	7,7	28/05/2017
Otros pólenes de hierbas	5	0,2	-	-	-	-

	AÑO		SEMANA		DÍA	
	Número S*/día/m <sup>3</sup>	Porcentaje %	Máximo S/m <sup>3</sup>	Semana núm.	Máximo S/m <sup>3</sup>	Fecha del máximo dd/mm/aaaa
ESPORAS TOTALES	23 108	100,0	287,2	20	599,2	17/05/2017
<i>Alternaria</i>	647	2,8	12,0	19	30,8	29/09/2017
Ascosporas	6434	27,8	62,8	45	123,2	10/05/2017
<i>Aspergillus/Penicillium</i>	384	1,7	18,0	20	126,0	17/05/2017
<i>Cladosporium</i>	9960	43,1	215,2	20	361,2	17/05/2017
<i>Ustilago</i>	2990	12,9	88,4	40	459,2	06/10/2017
Otras esporas de hongos	2693	11,7	-	-	-	-





**Figura 14.3. Dinámica de las concentraciones medias semanales de esporas de hongos totales en Santa Cruz de Tenerife (superior) e Izaña (inferior) durante 2017 en comparación con los datos medios del periodo 2004-2016.**

La concentración total de esporas de hongos muestra una variación estacional que contrasta con la del polen total. En 2017 en el SCO las mayores concentraciones ocurrieron entre septiembre y diciembre, comenzando antes de lo habitual, y alcanzaron valores similares a los medios. En el IZO, en 2017, las concentraciones de esporas de hongos fueron mayores que los valores medios dos veces, en mayo y septiembre. Existe una gran diferencia en el orden de magnitud de las concentraciones registradas en el SCO (mayor) y el IZO (fig. 14.3).

Estos resultados se refieren a la concentración total de pólenes y esporas de hongos. Sin embargo, los pólenes y las esporas de hongos a nivel individual pueden tener un comportamiento estacional bastante diferente en cada estación (véanse las tablas 14.1 y 14.2).

En la página web de información aerobiológica de Tenerife (proyecto EOLO-PAT) (<https://lap.uab.cat/aerobiologia/es/>) se pueden encontrar una serie de productos, como los niveles actuales y las previsiones de los principales pólenes y esporas de hongos alergénicos, datos históricos y actuales, y el calendario polínico del SCO.

#### 14.4 Actividades futuras

- Continuación del muestreo de pólenes y esporas de hongos, y análisis de datos aerobiológicos.
- Actualización de las bases de datos de polen y esporas presentes en el aire.

- Mejora de la información proporcionada a través de la página web y de los servicios a sus usuarios.
- Análisis de tendencias.
- Variabilidad interanual en función de la meteorología.

#### 14.5 Referencias

Belmonte, J., Cuevas, E., Poza, P., González, R., Roure, J. M., Puigdemunt, R., Alonso-Pérez, S., Grau, F.: Aerobiología y alergias respiratorias de Tenerife. Editor: Agencia Estatal de Meteorología/ Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010. NIPO (versión electrónica): 784-10-006-2.

Belmonte, J., C. De Linares, A. Fernández-Llamazares, C. Díaz de la Guardia, P. Cariñanos, S. Alonso-Pérez, E. Cuevas, J. M. Maya, S. Fernández, I. Silva, R. Tormo: Airborne Pinus pollen in Spain: pollination patterns and trends of the annual indexes and the peak dates, 5th European Symposium on Aerobiology, Krakow, Poland, 3-7 September, 2012.

Belmonte, J., E. Cuevas: Proyecto EOLO-PAT. Estudio de alérgenos en Canarias. Resumen anual de datos 2012. Bellaterra: Proyecto EOLO-PAT, 2013.

De Linares, C., Delgado, R., Aira, M. J., Alcázar, P., Alonso-Pérez, S., Boi, M., Cariñanos, P., Cuevas, E., Díaz de la Guardia, C., Elvirar-Rendueles, B., Fernández-González, D., Galán, C., Gutiérrez-Bustillo, A. M., Pérez-Badia, R., Rodríguez-Rajo, F. J., Ruiz-Valenzuela, L., Tormo-Molina, R., Trigo, M. M., Valencia-Barrera, R. M., Valle, A., Belmonte, J.: Changes in the Mediterranean pine forest: pollination patterns and annual trends of airborne pollen. *Aerobiología*, 33: 375-391, 2017.

Galán, C., Ariatti, A., Bonini, M., Clot, B., Crouzy, B., Dahl, A., Fernández-González, D., Frenguelli, G., Gehrig, R., Isard, S., Levetin, E., Li, D. W., Mandrioli, P., Rogers, C. A., Thibaudon, M., Sauliene, I., Skjoth, C., Smith, M., Sofiev, M.: Recommended terminology for aerobiological studies. *Aerobiología*, 33: 293-295, 2017.

#### 14.6 Personal

Dra. Jordina Belmonte (UAB; jefa de programa);  
 Dr. Emilio Cuevas (AEMET; coinvestigador principal);  
 Ramón Ramos (AEMET; mantenimiento del muestreador Hirst);  
 Sergio Afonso (AEMET; muestreo);  
 Virgilio Carreño (AEMET; muestreo);  
 Rut Puigdemunt (UAB; analista técnica);  
 David Navarro (UAB; analista técnico);  
 Dra. Concepción de Linares (UAB; investigadora científica);  
 Cándida Hernández (AEMET; observadora meteorológica y técnica de la VAG);  
 Concepción Bayo (AEMET; observadora meteorológica y técnica de la VAG).

## 15 Fenología

### 15.1 Principales objetivos científicos

La fenología se ocupa de estudiar los fenómenos biológicos que ocurren periódicamente acoplados a los ritmos estacionales relacionados con el tiempo meteorológico y al curso anual de las condiciones meteorológicas, en un lugar determinado. Estos fenómenos (fases de las aves migratorias, floración o maduración de frutos en las plantas, etc.) son sensibles a los cambios meteorológicos y climáticos; por lo tanto, su estudio detallado puede ayudar a comprender mejor cómo afectan a los seres vivos estas variaciones ambientales. Por todo ello, la OMM recomendó a los Servicios Meteorológicos Nacionales que pusieran en marcha un programa de observaciones fenológicas.

El IZO posee una excelente localización para llevar a cabo observaciones fenológicas ya que se encuentra en una zona de alta montaña en una isla con una gran cantidad de especies endémicas. Cada una de ellas está adaptada a unas condiciones ambientales específicas, lo que las hace especialmente sensibles a pequeños cambios ambientales, por lo que su estudio tiene un gran interés.

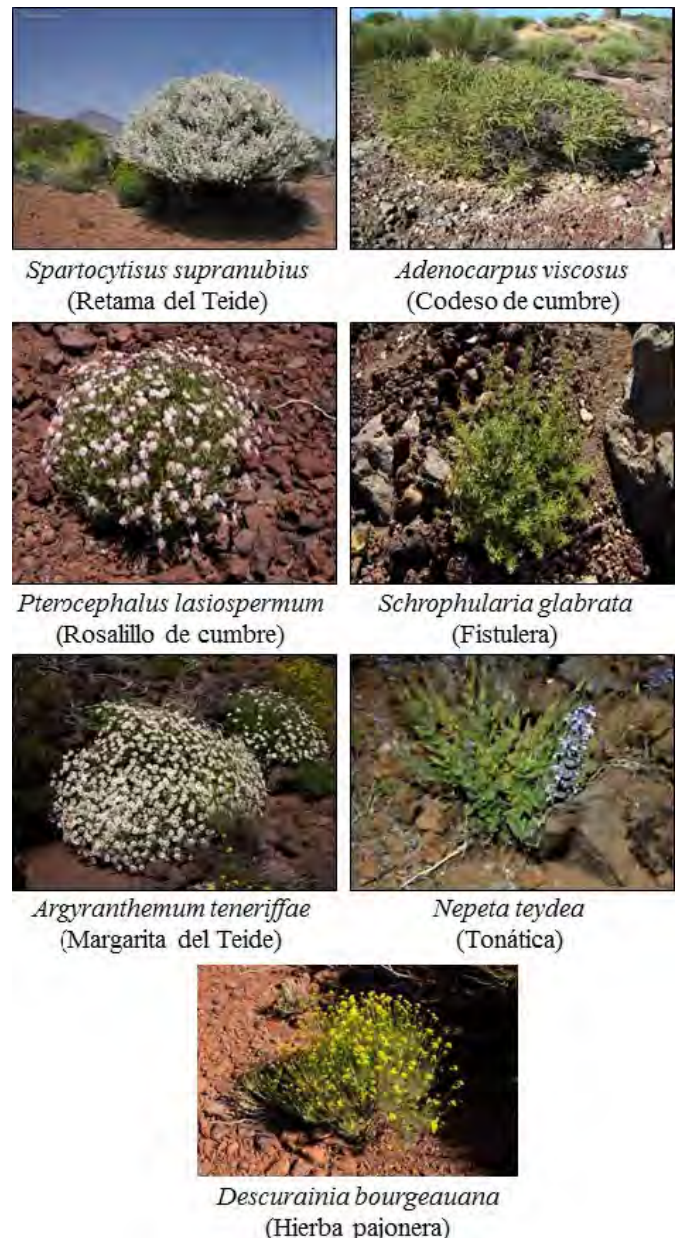
AEMET lleva a cabo un programa de observaciones fenológicas desde la década de 1940, pero su enfoque se ha centrado principalmente en las aplicaciones agrícolas. Sin embargo, en 2014 el IZO se incorporó a la red de estaciones fenológicas de AEMET con el fin de comprender mejor la relación entre los ciclos de vida de la fauna endémica del entorno y el clima específico y único de la zona. El programa se puso en marcha en colaboración con las autoridades del Parque Nacional del Teide.

El programa de observaciones fenológicas en el IZO se estableció con el compromiso de mantener observaciones a largo plazo; solo se puede obtener información valiosa si las observaciones se realizan de manera sistemática durante muchos años. Los ejemplos más claros son las observaciones climatológicas.

### 15.2 Programa de mediciones

Actualmente se están estudiando los taxones que se muestran en la fig. 15.1, todos ellos endémicos, correspondientes a las elevaciones más altas de la isla de Tenerife. Para cada taxón se estudia la aparición de la inflorescencia o la de botones florales, floración y desarrollo de frutos de acuerdo con la escala BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie) adoptada por AEMET. Los estadios fenológicos que se tienen en cuenta se detallan en la tabla 15.1.

También se emplea otra codificación (tabla 15.2), utilizada por los expertos del Parque Nacional del Teide y basada en el modelo propuesto por Anderson y Hubricht (1940) dentro del proyecto fenológico conjunto con esta institución. En esta metodología se consideran tres fases biológicas (aparición de la inflorescencia o desarrollo de botones florales; floración y desarrollo de frutos) y su porcentaje en el desarrollo poblacional de cada taxón. Las observaciones fenológicas son visuales, por lo que se han elegido nueve puntos de muestreo alrededor



**Figura 15.1.** Taxones endémicos típicos de las tierras altas de la isla de Tenerife, que se analizan en el programa de Fenología.

del IZO en los que hay una buena representación de especímenes adultos sanos de los taxones estudiados. En cada punto de observación se estima el porcentaje de fases fenológicas, traduciendo este porcentaje a los códigos antes mencionados. En la figura 15.2 se señalan los puntos de muestreo seleccionados.

Las observaciones fenológicas se realizan semanalmente en el momento de la aparición de yemas, floración y crecimiento de frutos; quincenales en las semanas del pre y posdesarrollo de estos estadios; y mensualmente durante los meses de invierno.



**Tabla 15.1. Estadios fenológicos: escala BBCH.**

Escala BBCH	Descripción
551	10 % de pétalos visibles cerrados, 10 % punta de pétalos
55	Emergencia de la corola, pétalos visibles cerrados, punta de pétalos
60	Primeras flores abiertas
61	10 % de flores abiertas (comienzo de la floración)
63	Floración al 30 %
65	Floración al 50 % (plena floración)
79	Fin de la formación del fruto (los frutos alcanzan prácticamente su tamaño final)
89	Los frutos están maduros y se desprenden fácilmente de la planta

**Tabla 15.2. Estadios fenológicos: codificación de Anderson y Hubricht.**

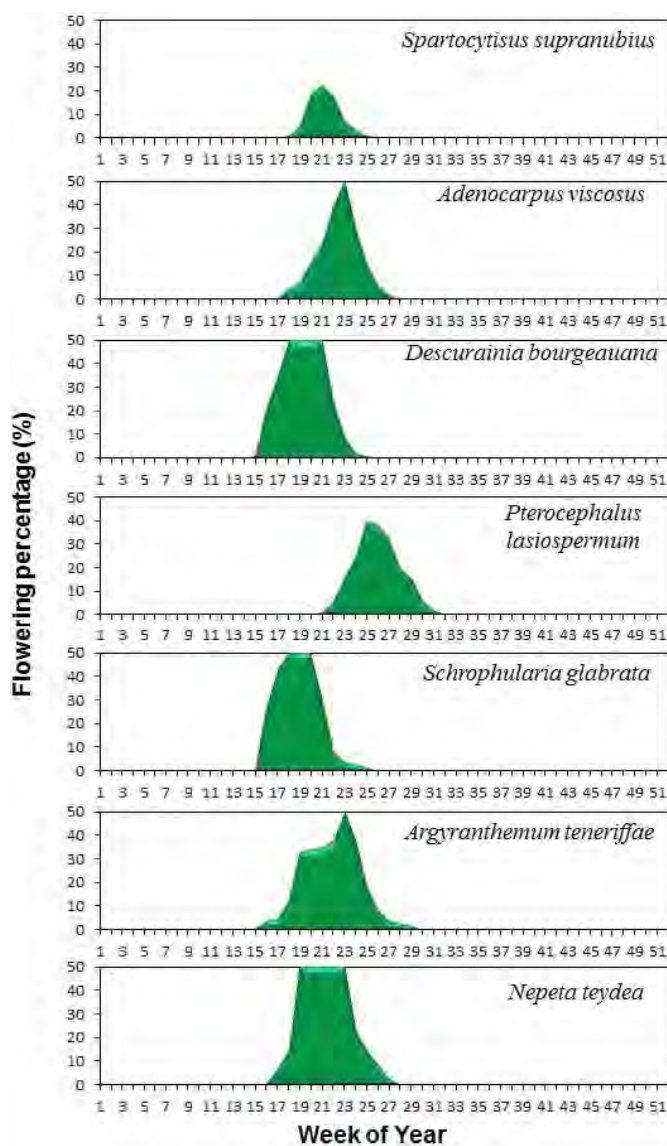
Clave	Descripción (válida para cada estadio: inflorescencia, floración y fruto)
A	Ausente
B	Desde los primeros especímenes hasta el 10 %
C1	Del 10 al 10 % de brotes/flores/frutos
C2	Entre el 30 y el 50 %
D	Más del 50 %
E1	Entre el 50 y el 30 %
E2	Entre el 30 y el 10 %
F	Menos del 10 % de especímenes



**Figura 15.2. Vista aérea del entorno del Observatorio Atmosférico de Izaña donde se señalan los puntos de muestreo seleccionados; los de la vertiente noroeste están marcados en azul y los de la vertiente sureste están marcados en amarillo.**

### 15.3 Resumen de resultados durante 2017

Las observaciones, aquí mostradas para 2017 (fig.15.3), permiten distinguir diferentes patrones de floración en las especies estudiadas: mientras que algunas permanecen en plena floración durante muchas semanas (como en el caso de la margarita del Teide, *Argyranthemum teneriffae*), otras especies tienen una floración más explosiva, probablemente adaptándose a los pocos días en que las condiciones ambientales son favorables para hacerlo sin demasiado calor ni frío, y con el suelo aún húmedo. De los datos de floración de 2017, resulta destacable que la retama del Teide (*Spartocytisus supranubius*) y el rosalillo de cumbre (*Pterocephalus lasiospermum*) no alcanzaron el 50 % de la floración. Esto es algo que también se observó en 2012 (año seco y cálido) aunque en ese año todavía no habían comenzado los conteos fenológicos sistemáticos. Aunque se están estudiando las causas de este comportamiento, se sabe que están relacionadas con la temperatura y la precipitación de esos años. Lamentablemente, debido a la falta de observadores meteorológicos en el Observatorio de Izaña en 2018, las observaciones fenológicas se interrumpieron durante este año.



**Figura 15.3. Duración del estadio de floración en diferentes taxones en Izaña, 2017.**



## 15.4 Desarrollo de un pluviómetro para medir el agua de la niebla

En las cumbres de Tenerife la precipitación anual ronda los 430 mm, pero existen grandes variaciones interanuales. Se cree que la niebla proporciona una contribución adicional significativa de agua a la vegetación en años de sequía, ya que la vegetación puede capturar parte del agua contenida en las gotas de niebla. Con el fin de disponer de datos sobre la cantidad de agua que se puede obtener de la niebla, se adaptó un pluviómetro siguiendo las directrices de la nota técnica de la OMM (2008) y se instaló en 2009. El medidor consta de una malla metálica situada por encima de un cilindro de 10 cm de diámetro y 22 cm de altura, y un marco de 0,2 cm × 0,2 cm, que imita la captura de las gotas de niebla por parte de las plantas, aunque se supone que esto es bastante difícil de lograr porque depende en gran medida de la morfología foliar, la orientación de la planta, el viento, etc. En la fig. 15.4 se muestran el pluviómetro adaptado y un primer plano de la malla de alambre instalada.

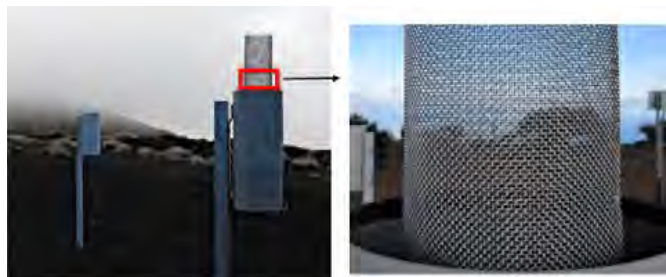


Figura 15.4. Pluviómetro adaptado y primer plano de la malla metálica.

Los resultados obtenidos hasta el momento ponen de manifiesto que el aporte de agua debido a la niebla es importante, ya que el pluviómetro adaptado para la captura de agua de niebla recogió aproximadamente 5 veces más precipitación que el pluviómetro convencional (fig. 15.5). También es digno de mención el periodo extremadamente seco de 2011-2012, en el que el agua total recolectada por el medidor de niebla fue casi 13 veces



Figura 15.5. Comparación de la precipitación recogida con un pluviómetro convencional y con el pluviómetro de niebla modificado para los últimos nueve años hidrometeorológicos.

El «año hidrometeorológico» utilizado aquí es el periodo que va del 1 de septiembre al 31 de agosto.

mayor que la del medidor convencional. Cabe destacar que el periodo hidrometeorológico de 2017-2018 muestra el máximo de precipitación de niebla (2750 mm) de toda la serie 2009-2018.

## 15.5 Referencias

Anderson, E. and Hubricht, L.: A method for describing and comparing blooming seasons, *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 639-648, 1940.

WMO: Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, WMO, N.º 8, Seventh edition, 2008. (Accesible en: [http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO\\_Guide-7th\\_Edition-2008.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/CIMO/CIMO_Guide-7th_Edition-2008.pdf)).

## 15.6 Personal

Rubén del Campo Hernández (AEMET; jefe de programa), en la actualidad en la sede central de AEMET en Madrid;  
Cándida Hernández Hernández (AEMET; observadora meteorológica y técnica de la VAG);  
Ramón Ramos (AEMET; jefe de infraestructuras).

## Programas de cooperación internacional

### 16 ACTRIS

La Red de infraestructuras de investigación en aerosoles, nubes y gases traza (ACTRIS) es una iniciativa paneuropea para consolidar acciones entre socios europeos que llevan a cabo observaciones de alta calidad en materia de aerosoles, nubes y gases traza. Los diferentes procesos atmosféricos se hallan cada vez más en el centro de atención de muchas de las cuestiones que son objeto de preocupación social y medioambiental, como la calidad del aire, la salud, la sostenibilidad y el cambio climático. ACTRIS tiene como objetivo contribuir a la resolución de estos desafíos proporcionando una plataforma para que los investigadores combinen sus esfuerzos de manera más eficaz y facilitando datos de observación de aerosoles, nubes y gases traza de forma abierta a cualquiera que desee utilizarlos.

Durante el periodo 2015-2019, la coordinación de ACTRIS ha sido apoyada por dos proyectos diferentes de la Comisión Europea: los Proyectos de la fase preparatoria (PPP) de ACTRIS-2 y ACTRIS. El primero giró en torno a la investigación en curso, coordinando los esfuerzos de las organizaciones asociadas y produciendo observaciones y datos, mientras que el segundo es un proyecto que tiene como objetivo establecer una infraestructura de investigación con personalidad jurídica y estructura operativa propias que continuará con el trabajo de ACTRIS-2.

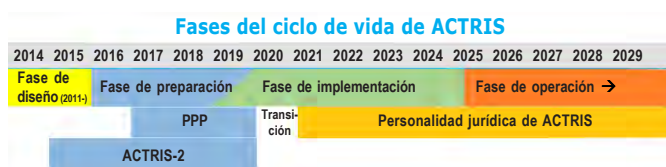


Figura 16.1. Fases del ciclo de vida de ACTRIS desde el diseño hasta la preparación, la implementación y la operación.

ACTRIS se compone de instalaciones centrales a nivel europeo y de instalaciones nacionales distribuidas (plataformas de observación y plataformas de exploración). Las instalaciones centrales a nivel europeo incluyen la oficina central, el centro de datos y seis centros temáticos (fig. 16.2). Estos últimos se organizan o se organizarán en torno a los principales temas científicos de ACTRIS: aerosoles, nubes y gases traza reactivos, cada uno con un enfoque particular en técnicas de medición por teledetección o *in situ*.

Instalaciones centrales a nivel europeo	
	Oficina central
	Centro de datos
	Centro de mediciones <i>in situ</i> de aerosoles
	Centro de teledetección de aerosoles
	Centro de mediciones <i>in situ</i> de nubes
	Centro de teledetección de nubes
	Centro de mediciones <i>in situ</i> de gases traza reactivos
	Centro de teledetección de gases traza reactivos
Instalaciones nacionales	
	Plataformas de observación
	Plataformas de exploración

Figura 16.2. Componentes básicos de la infraestructura de investigación de ACTRIS.

Los centros temáticos brindan los servicios clave y el apoyo operativo siguientes: a) procedimientos y herramientas para el aseguramiento y el control de la calidad de las mediciones y los datos de ACTRIS; b) transferencia de conocimientos y formación a los operadores y usuarios de ACTRIS; y c) mejoras en las metodologías de medición de aerosoles, nubes y gases traza reactivos. Los centros temáticos deberían operar con metodologías y tecnología de vanguardia, fomentando la puesta en marcha de nuevas técnicas validadas en ACTRIS. Con el fin de mantener un alto nivel de rendimiento y de estimular el desarrollo de nuevas técnicas y metodologías, los centros temáticos contribuyen a reforzar las redes de colaboración de expertos.

#### 16.1 Centro de teledetección de aerosoles

El Centro de teledetección de aerosoles (CARS) es uno de los seis centros temáticos y constará de unidades temáticas acogidas por las siguientes instituciones:

- 1) Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo de Optoelectrónica (INOE), Rumania.
- 2) Instituto Meteorológico de la Universidad de Múnich (LMU-MIM), Alemania.
- 3) Consejo Nacional de Investigaciones (CNR), Italia.
- 4) Observatorio Meteorológico de Hohenpeissenberg, Servicio Meteorológico (DWD), Alemania.
- 5) CNRS, Laboratorio de óptica atmosférica, Universidad de Lille, Francia.
- 6) Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (AEMET), España.
- 7) Universidad de Valladolid (UVA), España.

El Centro de teledetección de aerosoles ofrecerá apoyo y servicios operativos para las variables ACTRIS y técnicas de medición que se indican en la fig. 16.3.

Variables ACTRIS	Técnicas de medición
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perfil de retrodispersión atenuada</li> <li>• Perfil de depolarización de volumen</li> <li>• Perfil del coeficiente de retrodispersión de partículas</li> <li>• Perfil del coeficiente de extinción de partículas</li> <li>• Perfil de la razón lidar</li> <li>• Perfil del exponente de Ångström</li> <li>• Perfil del exponente de Ångström de retrodispersión</li> <li>• Perfil de la razón de depolarización de partículas</li> <li>• Propiedades geométricas de la capa de partículas (altura y espesor)</li> <li>• Propiedades ópticas de la capa de partículas (extinción, retrodispersión, razón lidar, exponente de Ångström, razón de depolarización, espesor óptico)</li> <li>• Extinción integrada en columna</li> <li>• Altura de la capa límite planetaria</li> <li>• Radiancias espectrales del cielo descendentes</li> <li>• Espesor óptico de los aerosoles (columna) determinado a partir de la extinción solar/lunar directa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lidar de aerosoles de alta potencia</li> <li>• Lidar automático de aerosoles de baja potencia y ceilómetros</li> <li>• Fotómetro solar, celeste y lunar automático</li> </ul>

Figura 16.3. Variables ACTRIS y técnicas de medición respaldadas por el Centro de teledetección de aerosoles.

En 2016, el Foro Estratégico Europeo sobre Infraestructuras de Investigación (ESFRI) seleccionó ACTRIS como nueva infraestructura de investigación en su hoja de ruta para fomentar la implementación de ACTRIS en un plazo de 10 años. El Proyecto de la fase preparatoria de ACTRIS (proyecto EU-H2020) apoya el desarrollo de la infraestructura de investigación y está financiado hasta diciembre de 2019. ACTRIS se encuentra ahora en la fase de preparación, pasará a la de implementación en 2020 y se prevé que esté completamente operativo en 2025 (fig. 16.1). El Proyecto de la fase de implementación de ACTRIS fue aprobado para su financiación por la Comisión Europea (convocatoria INFRADEV-3) en agosto de 2019 por un periodo de cuatro años (2020-2023).

## 16.2 ACTRIS-2 (Servicio de calibración de AERONET-Europa)

El proyecto de actividades integradoras de ACTRIS-2 recibió financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea durante cuatro años (del 1 de mayo de 2015 al 30 de abril de 2019) tras la finalización de manera satisfactoria del primer proyecto de actividades integradoras de ACTRIS en el 7PM (2011-2015).

ACTRIS-2 abordó el alcance de la integración de las estaciones terrestres europeas de última generación para la realización de observaciones a largo plazo de aerosoles, nubes y gases de vida corta. ACTRIS-2 se ejecutó en paralelo con el Proyecto de la fase preparatoria de ACTRIS. Las principales actividades de ACTRIS-2 estaban relacionadas con la prestación del acceso transnacional (TNA) a los usuarios, el fortalecimiento de las capacidades de medición y calibración, y el desarrollo de la comparabilidad de datos y de los ciclos de vida de los mismos. ACTRIS-2 facilitó la mejora del nivel técnico de los servicios previstos de infraestructuras de investigación, mejoró la colaboración de estas a escala nacional, regional y mundial, y alentó las asociaciones y la colaboración público-privadas.

La Red Robótica de Aerosoles (AERONET) es una red terrestre de fotómetros solares automáticos y normalizados dedicada a caracterizar y monitorizar las propiedades de los aerosoles. Los emplazamientos de esta red se hallan localizados por todo el mundo, y también hay un gran número de ellos en Europa. AERONET es una de las infraestructuras con que cuentan a nivel mundial las comunidades de satélites y modelización atmosférica para verificar y validar los productos de aerosoles tanto en tiempo casi real como a largo plazo. Fue ampliamente utilizada en los diversos proyectos de Vigilancia de la composición atmosférica y el clima (MACC) y en el actual Servicio de Vigilancia de la Atmósfera del Programa Copernicus (CAMS). La red AERONET también es utilizada por la Iniciativa de Cambio Climático (CCI) y por el Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena (SDS-WAS) de la OMM para África del Norte, Oriente Medio y Europa.

El Servicio de calibración de AERONET-Europa ha sido financiado por el Proyecto de actividades integradoras de ACTRIS-2 hasta abril de 2019. Este Servicio de calibración ofrece a la comunidad científica una instalación única de fotómetros solares para llevar a cabo las tareas de calibración y mantenimiento, que opera en el seno de la federación AERONET (Goloub *et al.*, 2015; 2016a, b; 2017). Desde 2015, el Servicio de calibración de

AERONET-Europa ofrece el valor adicional de la calibración lunar y el AOD nocturno con el nuevo fotómetro triple (Cimel CE318T; para observaciones solares, de cielo y lunares).

Este acceso transnacional gestiona un servicio de calibración para instrumentos operados en los emplazamientos actuales y futuros de AERONET, complementando así el centro de calibración de la NASA con sede en Washington (EE. UU.). El Servicio de calibración AERONET-Europa constituye una infraestructura asentada en múltiples emplazamientos (fig. 16.4) con instalaciones en Lille (LOA, Francia) y Valladolid (GOA, España), dedicadas a la intercalibración de instrumentos de campo, y en el IZO, una instalación única para la calibración absoluta de los instrumentos Cimel maestros.

El IZO alberga un conjunto de ocho instrumentos de referencia en funcionamiento continuo, disponibles para las necesidades de las instalaciones del LOA y el GOA. Los instrumentos maestros de AERONET-Europa del LOA y el GOA se recalibran trimestralmente en el IZO para garantizar la exactitud de las mediciones.

Los instrumentos maestros de otras redes, como la Red china de teledetección de aerosoles (CARSNET) y el Instituto de Aplicaciones de Teledetección (IRSA), también se recalibran en el IZO con regularidad.

A finales del año 2017, se amplió y mejoró la instalación de AERONET-Europa en Izaña a fin de atender las necesidades cada vez mayores de calibración. Se pusieron en marcha nuevos sistemas de suministro de energía y de transferencia de datos, así como nuevas carcasas de acoplamiento resistentes a la intemperie. Además, se arregló el sistema de cableado para facilitar una instalación y desinstalación frecuentes de los instrumentos de calibración. En la actualidad, se pueden realizar 20 calibraciones de fotómetros al mismo tiempo (fig. 16.5).



Figura 16.4. Localización de las tres instalaciones de calibración de AERONET-Europa.





Figura 16.5. Cimel maestros en la instalación de calibración de AERONET-Europa del Observatorio Atmosférico de Izaña.

Todos los usuarios que operen para su actividad investigadora con un fotómetro Cimel normal o con uno triple (solar, de cielo y lunar), ya sea estándar o polarizado, situado en Europa o fuera de este continente, en el marco de acuerdos de cooperación internacional, pueden enviar una propuesta al Servicio de calibración de AERONET-Europa en cualquier momento. La calibración y el mantenimiento del instrumento se realizan de forma gratuita y las propuestas se otorgan sobre la base de un proceso de revisión por parte del grupo de selección de TNA. Los gastos de envío del instrumento desde y hacia el emplazamiento del usuario no están incluidos y deben ser cubiertos por la institución del usuario.

La mayoría de los accesos que proporciona AERONET-Europa permiten asegurar la calidad de los datos en lugares que operan no solo con un fotómetro solar normal o triple, sino también con múltiples instrumentos complementarios de observación *in situ* y por teledetección. Este aspecto proporciona una clara integración de los fotómetros solares normales o triples, dispositivos lidar e instrumentos de medición de aerosoles *in situ*. El número de accesos totales facilitados por AERONET-Europa en el bienio 2017-2018 fue de 222, concretamente 104, 80 y 38 para el LOA, el GOA y el IZO, respectivamente.

Además de la actividad de calibración proporcionada por AERONET-Europa a los usuarios europeos para los emplazamientos europeos, varias propuestas ya aceptadas involucraron a los usuarios europeos que desplegaron sus instrumentos durante experimentos de campo o de una manera más permanente fuera de Europa, por ejemplo, en África del Norte, sureste

de África, Asia central, Asia y Antártida. Estas calibraciones también brindaron una buena oportunidad para conectar la red AERONET a otras redes de fotómetros solares o lunares que operan o comienzan a hacerlo en todo el mundo. Varias propuestas involucraron a otras tecnologías existentes y a nuevas tecnologías que están sometidas a evaluación.

La calidad de los datos, el rendimiento de los instrumentos y unos gestores sobre el terreno bien preparados son, después de la calibración, las claves del éxito que debe considerar AERONET-Europa. Gracias a estas actividades, se han renovado varios emplazamientos e instrumentos previamente administrados y calibrados por la NASA que habían sido gestionados de manera insuficiente por los usuarios.

Los datos de calidad garantizada de AERONET-Europa son ampliamente utilizados por las comunidades de modelización y satélites a través de varios programas e iniciativas europeas (ESA, MACC-II, GMES, AEROCOM, etc.). A finales de 2018, el Centro Regional SDS-WAS para África del Norte, Oriente Medio y Europa utilizó alrededor de 40 fotómetros solares AERONET para la validación en tiempo casi real, la mayoría de ellos calibrados por AERONET-Europa. El servicio CAMS también realiza un uso en tiempo casi real de los datos de AERONET para verificar los productos de aerosoles de modelos específicos.

### 16.3 Acceso transnacional

El proyecto ACTRIS-2 proporciona estancias prácticas gratuitas de investigadores a 18 plataformas de observación de interés

internacional en Europa dentro de los programas de acceso transnacional (TNA). Las instalaciones de observación que brindan TNA son representativas por su singularidad dentro de Europa, ofreciendo un exhaustivo programa de mediciones a la vanguardia de los progresos científicos en los dominios específicos que abarca ACTRIS (por ejemplo, distribución vertical de aerosoles, propiedades de aerosoles *in situ*, gases traza) junto con equipos de última generación, un alto nivel de servicios y la capacidad de ofrecer formación impulsada por la investigación a científicos jóvenes y a nuevos usuarios.

Una de estas 18 instalaciones de observación es la Instalación de acceso subtropical de Izaña (ISAF) del CIAI. La ISAF es la única infraestructura existente para llevar a cabo observaciones en la troposfera libre del Atlántico Norte subtropical. Hay tres tipos de estancias TNA disponibles: 1) formación, 2) desplazamiento de expertos y 3) combinación de formación y desplazamiento de expertos. En el bienio 2017-2018 se solicitaron y aprobaron cinco propuestas de TNA en la ISAF.

### 16.3.1 TNA del 16 al 20 de enero de 2017

Lahouari Zeudmi se convirtió en el primer técnico de la estación de Tamanrasset (Oficina Nacional de la Meteorología de Argelia), que solicitó una estancia de formación a la ISAF. El emplazamiento de Tamanrasset es una estación de la VAG de la OMM situada en un lugar estratégico, en el corazón del Sahara. La formación continua de los técnicos en la estación resulta fundamental para evaluar el aseguramiento y el control de la calidad de su programa de medición de aerosoles totales en columna. Del 16 al 20 de enero asistió a un curso intensivo de formación de 20 horas sobre el funcionamiento de los fotómetros solares Cimel impartido por la Dra. Carmen Guirado Fuentes. Entre las principales materias abordadas en el curso figuraban: capacitación práctica en fotómetros solares; sistema de calibración de AERONET; mediciones y productos derivados; sistema de alerta CAELIS; generalidades de aerosoles atmosféricos; y análisis de datos.



Figura 16.6. Lahouari Zeudmi realizando actividades de formación durante su TNA, del 16 al 20 de enero de 2017.

### 16.3.2 TNA del 7 al 14 de febrero de 2017

Este TNA implicó el desplazamiento a la ISAF del experto Philippe Demoulin (Instituto Belga de Aeronomía Espacial), que estaba probando y calibrando el instrumento VISION, un espectrómetro de imágenes en miniatura en los rangos visible e infrarrojo cercano que volará a bordo del PICASSO (Picosatélite para las observaciones científicas de la atmósfera y el espacio), una plataforma espacial que se lanzará durante 2017. Durante la

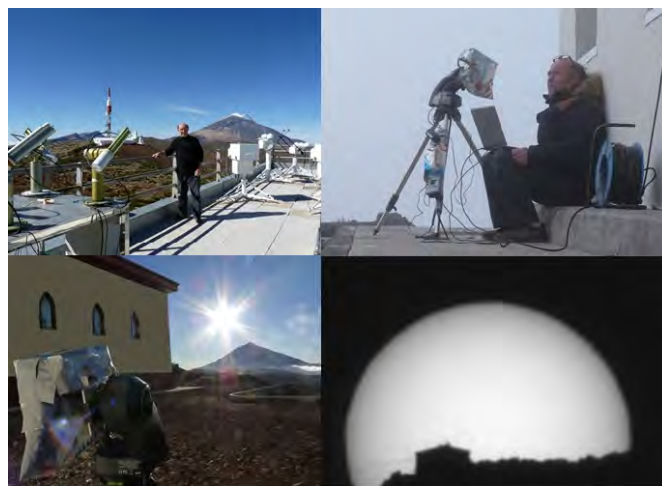


Figura 16.7. Philippe Demoulin durante su TNA, del 7 al 14 de febrero de 2017.

estancia, se registraron más de 6000 imágenes solares, a pesar de la existencia de cierta niebla ocasional.

### 16.3.3 TNA del 3 al 7 de abril de 2017

Ilyes Zarrouk ha sido el único técnico de la estación de Túnez-Cartago (Instituto Nacional de la Meteorología de Túnez) que solicitó una estancia de formación a la ISAF. Túnez-Cartago es una estación fundamental para monitorizar las tormentas de polvo que viajan hacia el Mediterráneo, para validar los modelos de polvo regionales y globales, y para validar también las mediciones de polvo realizadas por satélite. El curso de formación reforzó su relativamente nuevo programa de observación de aerosoles totales en columna.

Durante su estancia en Izaña, Ilyes Zarrouk asistió a un curso intensivo de formación de 20 horas sobre el funcionamiento de los fotómetros solares Cimel impartido por la Dra. Carmen Guirado Fuentes y por Ramón Ramos. Entre las principales materias abordadas en el curso figuraban: capacitación práctica en fotómetros solares; sistema de calibración de AERONET; mediciones y productos derivados; sistema de alerta CAELIS; y análisis de datos.



Figura 16.8. Ilyes Zarrouk durante su TNA, del 3 al 7 de abril de 2017.

### 16.3.4 TNA del 1 al 9 de junio de 2017

El Dr. Mauro Mazzola (Consejo Nacional de Investigaciones de Italia, Instituto de Ciencias Atmosféricas y Clima, CNR-ISAC) participó como experto en la «Campaña y taller de fotometría





**Figura 16.9.** El Dr. Mauro Mazzola durante su TNA, del 3 al 7 de abril de 2017.

lunar en Izaña 2017». El TNA se dedicó a probar la versión lunar del radiómetro de filtro de precisión (PFR), producido por el PMOD-CRM (Observatorio Físico y Meteorológico de Davos-Centro Radiométrico Mundial). El prototipo de PFR lunar, desarrollado en colaboración entre PMOD-CRM y CNR-ISAC, fue calibrado y comparado con otros instrumentos adecuados para recuperar datos del espesor óptico de los aerosoles utilizando la luz reflejada por la Luna; entre estos instrumentos figuraban el fotómetro de referencia CE318T, fabricado por Cimel Electronique.

### 16.3.5 TNA del 25 al 29 de junio de 2018

Sidalamine Baika fue el segundo técnico de la estación de Tamanrasset (Oficina Nacional de la Meteorología de Argelia), que solicitó una estancia de formación a la ISAF. El objetivo era mantener una formación continua anual de los técnicos de esta estación, prestando apoyo activo a sus programas de seguimiento que cubren la falta de mediciones atmosféricas en el Sahara. Esta TNA fue la última perteneciente a usuarios extracomunitarios, alcanzándose la cuota de un 20 % de usuarios extracomunitarios del total de estancias.



**Figura 16.10.** Sidalamine Baika durante su TNA, del 25 al 29 de junio de 2018.

## 16.4 Referencias

Goloub, P., E. Cuevas, C. Toledano: AERONET-EUROPE Central Facility Calibration/Maintenance Service for Sun/Moon/Sky-Photometry Devoted to Aerosols, Water Vapor and Clouds characterization, ACTRIS II stakeholders meeting, February 27, 2015.

Goloub, P., C. Toledano, E. Cuevas: Calibration/Maintenance/QC/QA Service for Sun/Moon/Skyphotometry: Aerosols, Water Vapor and Clouds characterization, ACTRIS, ACTRIS RI planning meeting, Bad Zurzach, Switzerland, 26-28 January, 2016a.

Goloub, P., C. Toledano, E. Cuevas: The European AERONET Calibration Facility: Updates within ACTRIS-2 and New dimension in ACTRIS-RI, 2nd ACTRIS-2 General Meeting, Frascati, Italy, Feb 29-Mar 3, 2016b.

Goloub, P., C. Toledano, E. Cuevas: WP7: AERONET-Europe, ACTRIS-2 Mid-time Review Meeting, Granada, Spain January 31, 2017.

## 16.5 Personal

Dr. Emilio Cuevas (IP de Izaña-AEMET);  
 Dra. Carmen Guirado Fuentes (UVA/AEMET; investigadora científica) dejó el CIAI en septiembre de 2019;  
 Dr. Philippe Goloub (IP del LOA-CNRS/Universidad de Lille);  
 Dr. Carlos Toledano (IP del GOA-Universidad de Valladolid).





## 17 Centro Regional de Calibración Brewer para Europa

### 17.1 Antecedentes

En noviembre de 2003 se creó en el IZO el Centro Regional de Calibración Brewer para Europa (región de la Asociación Regional VI de la OMM) (RBCC-E) de la VAG/OMM. La referencia del RBCC-E se basa en tres espectrofotómetros dobles Brewer Mark-III (la tríada del IZO): una Referencia Primaria Regional (Brewer 157), una Referencia Secundaria Regional (Brewer 183) y una Referencia Itinerante Regional (Brewer 185) (fig. 17.1). Tal y como se describe en la sección 3.1, el IZO se halla situado en una región subtropical (28 °N) sobre una meseta montañosa (2373 m s.n.m.) con cielos prístinos y una baja variabilidad de ozono. Esta localización permite realizar calibraciones absolutas rutinarias de las referencias en condiciones similares a las existentes en el Observatorio de Mauna Loa (MLO), Hawái (EE. UU.). El establecimiento de la tríada del RBCC-E permite poner en marcha un sistema europeo de calibración de espectrofotómetros Brewer autosuficiente que respeta la escala mundial pero que funciona como una infraestructura independiente de la VAG.

Hay dos centros europeos de calibración para los dos tipos de espectrofotómetros de ozono en uso: Dobson y Brewer. El Centro Regional de Calibración Dobson para Europa (RDCC-E) se halla en el Observatorio Meteorológico de Hohenpeissenberg (Alemania). Desde 2009, las actividades del RBCC-E han sido financiadas en gran medida por el proyecto de la ESA de «Intercalibración del CEOS de espectrómetros y lidars terrestres», que incluye la participación de los dos centros de calibración europeos (RBCC-E y RDCC-E).

### 17.2 Objetivos

Los principales objetivos de este programa de cooperación son los siguientes:

- Poner en marcha un sistema de calibraciones absolutas rutinarias de los instrumentos de referencia regionales Brewer europeos en el IZO, que sean totalmente compatibles con las calibraciones absolutas de la tríada de referencia mundial del MLO.
- Llevar a cabo campañas periódicas de calibración utilizando la Referencia Primaria Regional B157 (durante las intercomparaciones realizadas en el IZO) y el espectrofotómetro B185 de Referencia Itinerante Regional (trazable a la B157) en las campañas continentales.
- Realizar comparaciones regulares de la Referencia Primaria Regional Brewer B157 con la Referencia Regional Dobson D074 para monitorizar la relación entre ambas escalas de calibración en la región de la AR VI.
- Estudiar las fuentes de errores de las calibraciones absolutas y determinar la exactitud de la medición del ozono total que puede lograr el espectrofotómetro Brewer en diferentes condiciones atmosféricas o características instrumentales.



Figura 17.1. El equipo del RBCC-E de camino a la campaña de El Arenosillo 2017 (foto: Sergio F. León Luis).

### 17.3 Tareas

Las principales tareas de este programa de cooperación son las siguientes:

- Desarrollar procedimientos de control de la calidad y procedimientos normalizados de operación (SOP) para llevar a cabo la trazabilidad de las mediciones a los estándares de referencia.
- Mantener estándares de laboratorio y de transferencia que sean trazables a los estándares de referencia.
- Realizar calibraciones y auditorías periódicas en los emplazamientos de la VAG.
- Proporcionar, en cooperación con los centros de aseguramiento de la calidad y de actividad científica, capacitación y asistencia técnica para las estaciones.

### 17.4 Grupo consultivo científico de la VAG para el ozono

El Grupo consultivo científico de la VAG para el Ozono (GCC VAG Ozono) lleva a cabo el seguimiento de las actividades en el programa de ozono estratosférico, supervisa y asesora al Centro mundial de datos sobre el ozono y la radiación ultravioleta y a los centros de calibración, y establece y ayuda a publicar procedimientos normalizados de operación. Además, presta apoyo a las actividades de creación de capacidad, hace recomendaciones sobre técnicas de medición, programas de calibración y reubicación de instrumentos redundantes, y brinda recomendaciones a todos los participantes de la Red del ozono. El grupo está formado por 19 expertos internacionales. Alkiviadis Bais (Grecia) ha sido el presidente del GCC VAG Ozono desde 2013. Alberto Redondas (CIAI), como gestor de emplazamiento del RBCC-E, ha sido miembro del citado Grupo desde 2005.

## 17.5 Principales actividades del RBCC-E durante el periodo 2017-2018

### 17.5.1 Transferencia de calibración absoluta

La tríada Brewer del RBCC-E transfiere la calibración de la tríada de referencia mundial, situada en Toronto (Canadá) y administrada por el Servicio Meteorológico (Ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático) de Canadá (ECCC-MS). El Brewer #185 de referencia itinerante del RBCC-E garantiza la transferencia de la referencia mundial a la red Brewer de la Asociación Regional VI de la OMM. La conexión de la tríada del RBCC-E con la referencia mundial se ha realizado en el pasado utilizando el estándar itinerante Brewer #017 administrado por International Ozone Services (IOS). El GCC VAG Ozono de la OMM autorizó en 2011 al RBCC-E a realizar la transferencia de su propia calibración absoluta, basada en el análisis Langley en el IZO. La conexión con la referencia mundial se lleva a cabo mediante la intercomparación directa con la tríada mundial en Toronto o a través de campañas comunes Langley en el MLO o en el IZO (León-Luis *et al.*, 2018).

En la actualidad, el RBCC-E mantiene una tríada de instrumentos de referencia. El espectrofotómetro de referencia primario regional (B#157), el espectrofotómetro de referencia secundario (B#183) y el espectrofotómetro de referencia itinerante regional (B#185). Cada espectrofotómetro se calibra de forma independiente con el método Langley estándar en el IZO y desde 2011 transfieren su propia calibración y se comparan regularmente con la tríada de Toronto. Redondas *et al.* (2018) y León-Luis *et al.* (2018) estudiaron la estabilidad de la tríada del RBCC-E durante el periodo 2005-2015, utilizando un método matemático donde los valores de ozono se ajustan a un polinomio de segundo grado (Fioletov *et al.*, 2005) o a un polinomio extendido de tercer grado (Stübi *et al.*, 2017).

Redondas *et al.* (2018) y León-Luis *et al.* (2018) tuvieron en cuenta dos condiciones: a) solo se seleccionaron días con al menos 15 mediciones distribuidas entre antes y después del mediodía solar y con desviación típica < 0,5 y b) se eliminaron los datos del Brewer #185 medidos durante las campañas. Además de este estudio, en este informe se presenta la estabilidad de la tríada del RBCC-E durante el periodo 2010-2018. La distribución de la diferencia entre la media diaria de ozono obtenida por cada Brewer con respecto al valor del O<sub>3</sub> medio de la tríada (O<sub>3\_medio</sub>) se calculó de la siguiente manera:

$$O_{3\_medio} = (O_{3\_157} + O_{3\_183} + O_{3\_185})/3. \quad (1)$$

Se puede observar un buen perfil gaussiano en la distribución de las diferencias (fig. 17.2) que confirma la estabilidad de la tríada Brewer del IZO durante el periodo 2005-2018.

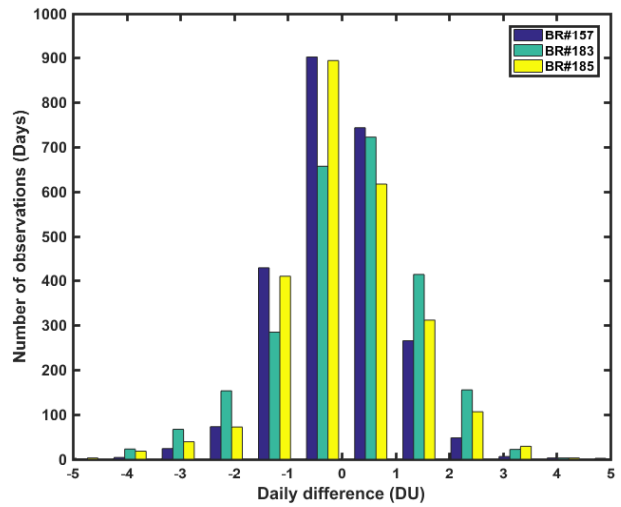


Figura 17.2. Distribución de las diferencias entre la media diaria de ozono obtenida por cada Brewer en la tríada con respecto al valor medio de O<sub>3</sub> de la tríada Brewer del RBCC-E situada en el IZO para el periodo 2010-2018.

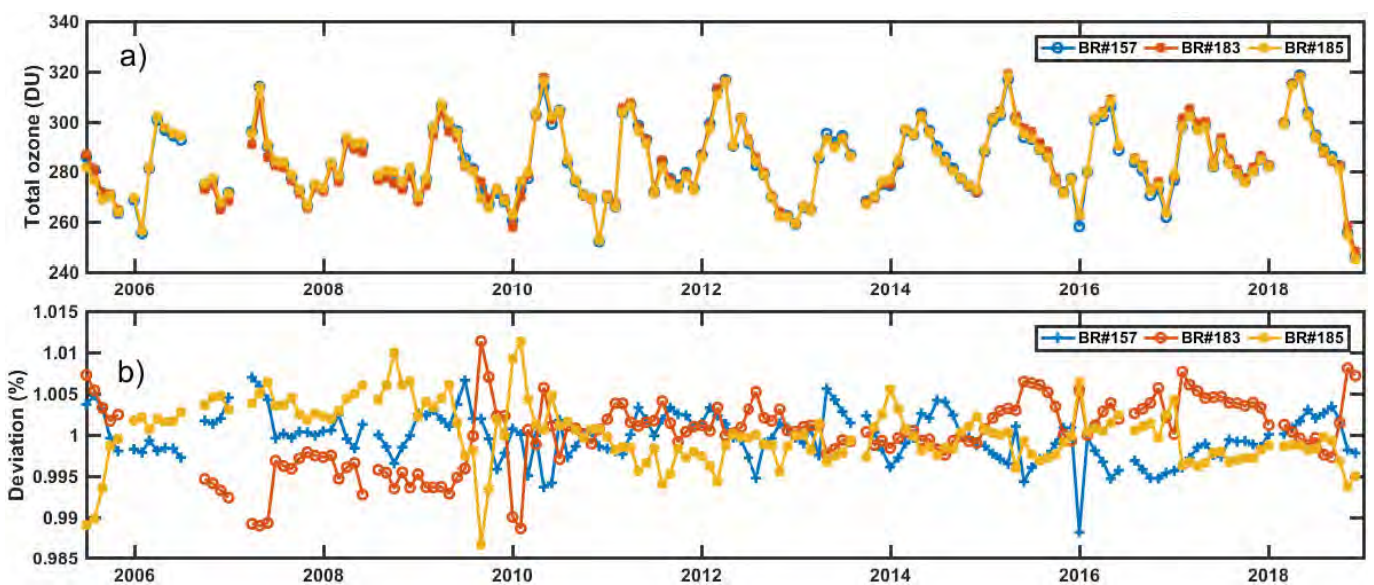


Figura 17.3. a) Valores medios mensuales de la columna de ozono total (TOC) medidos en el Observatorio Atmosférico de Izaña por la tríada del RBCC-E y b) razón de ozono total de cada Brewer en comparación con la media de la tríada del RBCC-E durante el periodo 2005-2018.

La figura 17.3 muestra las desviaciones relativas de la TOC media mensual de la tríada del RBCC-E para cada uno de los Brewer. Este gráfico se utiliza como indicador para identificar si un instrumento de la tríada necesita recalibrarse o para verificar que una calibración actual aplicada a un Brewer sea lo suficientemente buena. La desviación típica de las desviaciones relativas de la media mensual de la tríada del RBCC-E tiene valores de 0,34 %, 0,36 % y 0,30 % (B#157, B#183 y B#185) para el periodo 2010-2018, ligeramente inferiores a los informados para la tríada de Canadá (Fioletov *et al.*, 2005).

### 17.5.2 Campañas de intercomparación del RBCC-E

Las intercomparaciones Brewer se realizan anualmente, alternando entre las localizaciones de Arosa (Suiza) y la estación de sondeos atmosféricos de El Arenosillo del INTA, en Huelva, en el sur de España. El objetivo es que varios Brewer de las organizaciones invitadas recopilen datos de ozono simultáneos para que sus constantes de calibración puedan transferirse desde los instrumentos de referencia. El RBCC-E organizó dos campañas ordinarias de intercomparación durante el periodo que abarca este informe (2017-2018): la duodécima campaña de intercomparación del RBCC-E celebrada en El Arenosillo (España) del 29 de

mayo al 7 de junio de 2017, y la decimotercera campaña de intercomparación del RBCC-E celebrada en Arosa (Suiza) del 30 de julio al 10 de agosto de 2018 (tabla 17.1).

En la fig. 17.5 se muestra el origen geográfico de los Brewer calibrados por el RBCC-E y en la fig. 17.6 el número de calibraciones realizadas por el RBCC-E cada año. En 2017 y 2018 se llevaron a cabo 22 y 7 calibraciones, respectivamente. Estas campañas de intercomparación rutinaria brindan a la comunidad Brewer la oportunidad de evaluar el estado de los instrumentos de la red europea.



Figura 17.4. La referencia itinerante Brewer #185 del RBCC-E en la campaña de Arosa 2018 (foto: A. Redondas).



Figura 17.5. Origen geográfico de los Brewer calibrados por el RBCC-E

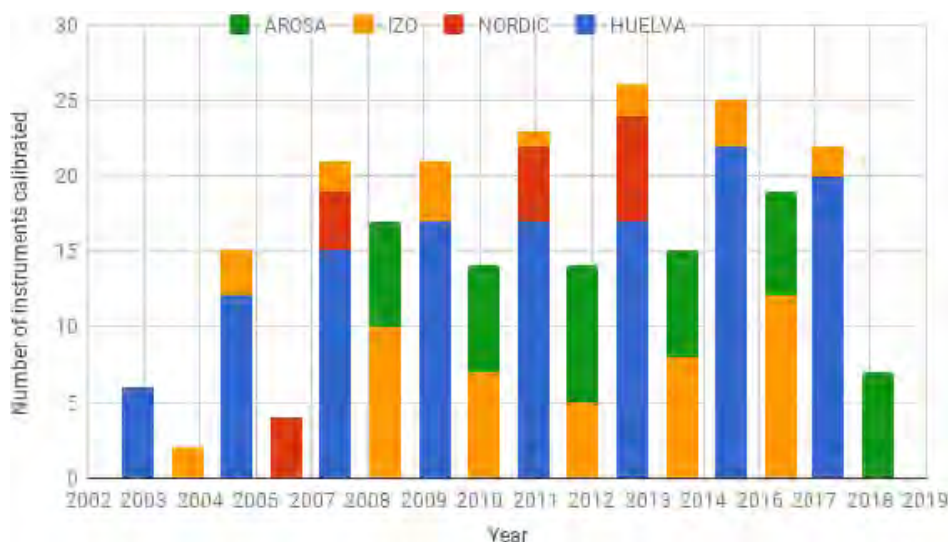


Figura 17.6. Calibraciones realizadas por el RBCC-E cada año.



**Tabla 17.1. Campañas realizadas durante el periodo 2017-2018 organizadas por el RBCC-E.**

Institución	Participantes	Instrumento	País
<b>Campaña del RBCC-E de El Arenosillo 2017 (España, 29 de mayo a 7 de junio)</b>			
CIAI-AEMET	Alberto Redondas Sergio León Virgilio Carreño Francisco Parra Rojas Bentorey Hernández	Brewer #185-MKIII	España
Universidad de Tesalónica	Alkis Bais Fani Gkertsí	Brewer #005-MKII	Grecia
International Ozone Services (IOS)	Martin Stanek Volodya Savastouk	Brewer #017-MKII	Canadá
CIAI-AEMET	J. M. San Atanasio Juan R. Moreta Ana María Díaz Francisco García	Brewer #033-MKIV Brewer #070-MKIV Brewer #117-MKIV Brewer #151-MKIV Brewer #166-MKIII Brewer #186-MKIV	España
Servicio Meteorológico del Reino Unido (UKMO)	John Rimmer	Brewer #075-MKIV Brewer #126-MKII Brewer #172-MKIII	Reino Unido
Instituto Portugués del Mar y de la Atmósfera (IPMA)	Diamantino Henriques	Brewer #102-MKII	Portugal
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)	José Manuel Vilaplana	Brewer #150-MKIII	España
Kipp & Zonen (K&Z)	Keith M. Wilson Pavel Babal Martjin Van Sebille	Brewer #158-MKIII Brewer #230-MKIII	Países Bajos
Centro Radiométrico Mundial (CRM)	Julian Groebner Natalia Kournemeti Luca Egli	Brewer #163-MKIII QUASUME	Suiza
Instituto Meteorológico Danés (DMI)	Paul Eriksen Niss Jepsen	Brewer #202-MKIII Brewer #228-MKIII	Dinamarca
Instituto Meteorológico Finlandés (FMI)	Tomi Karpinen	Brewer #214-MKIII	Finlandia
Universidad de York	Tom McElroy		Canadá
Universidad de Extremadura	Antonio Serrano Ana Álvarez Piedehierro Guadalupe Sánchez Hernández		España

Tabla 17.1 (continuación). Campañas realizadas durante el periodo 2017-2018 organizadas por el RBCC-E.

Institución	Participantes	Instrumento	País
<b>Campaña del RBCC-E de Arosa-Davos 2018 (Suiza, 30 de julio a 10 de agosto)</b>			
CIAI-AEMET	Alberto Redondas Sergio León Luis Virgilio Carreño	Brewer #185-MKIII	España
Observatorio Atmosférico de Arosa (LKO)	René Stübi Herbert Schill Werner Siegrist	Brewer #005-MKII Brewer #072-MKII Brewer #082-MKIV Brewer #156-MKIII	Suiza
Kipp & Zonen (K&Z)	Eric Nort Pavel Babal	Brewer #158-MKIII Brewer #245-MKIII	Países Bajos
Centro Radiométrico Mundial (CRM)	Julian Groebner Luca Egli	Brewer #163-MKIII	Suiza
Asociación científica y de producción «Tifón» (RPA)	Vadim Shirotov	Brewer #044-MKII	Federación de Rusia
Universidad de York	Tom McElroy		Canadá



Figura 17.7. Imágenes de la 12.<sup>a</sup> campaña de intercomparación del RBCC-E celebrada en El Arenosillo, del 29 de mayo al 7 de junio de 2017.

### 17.5.3 Resultados de la intercomparación

En la 13.<sup>a</sup> campaña de intercomparación del RBCC-E, la comparación inicial (periodo ciego), en la que se utilizaron las constantes de calibración originales de los instrumentos, puso de relieve que todos los instrumentos Brewer operativos se encontraban dentro del rango de  $\pm 1,0\%$  si se considera la región libre de luz parásita ( $OSC < 900$ ), mientras que el 63 % (5 instrumentos) mostraron una concordancia perfecta de  $\pm 0,5\%$  tras un periodo de calibración de dos años (figura 17.8).

Vale la pena señalar que estos resultados se obtienen sin llevar a cabo la corrección de luz parásita. Se pueden esperar grandes errores de hasta el 4 % para los instrumentos Brewer de un solo monocromador que operan con  $OSC > 1000$  DU. Después de realizar la corrección de luz parásita, los Brewer de un monocromador mejoraron su rendimiento, y con la calibración final todos los espectrofotómetros Brewer participantes estuvieron dentro del rango de concordancia de  $\pm 0,5\%$  (figura 17.9).

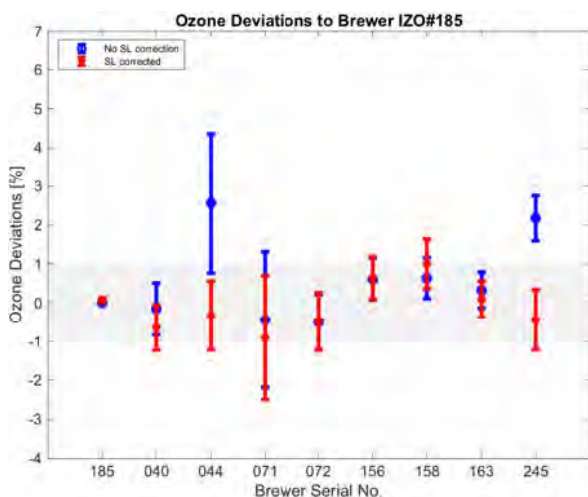


Figura 17.8. Diferencia media porcentual en el periodo inicial para las mediciones simultáneas directas al sol con la referencia para todos los instrumentos participantes, con y sin corrección de lámpara estándar, en la región de OSC libre de luz parásita ( $OSC < 900$ ). Reproducido de Redondas *et al.* (2018).

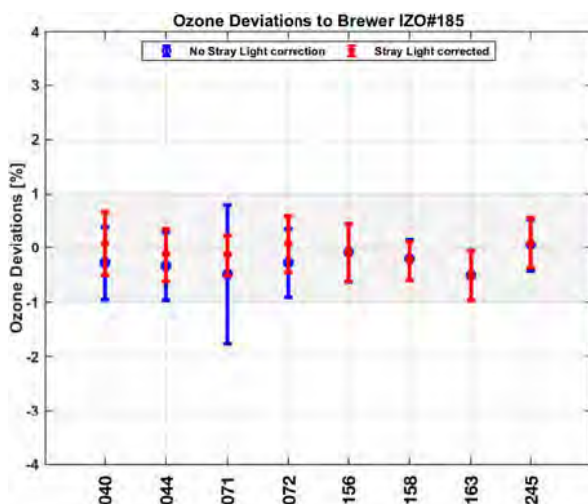


Figura 17.9. Diferencia media porcentual en el periodo final para las mediciones simultáneas directas al sol con la referencia para todos los instrumentos participantes. Reproducido de Redondas *et al.* (2018).

### 17.5.4 Intérprete de Python para el software de control del Brewer

Este intérprete, propuesto por José Rodríguez como parte de las actividades de la acción COST ES1207 de EUBREWNET, tiene como objetivo principal desarrollar un intérprete de Python para GWBASIC, que permita ejecutar el software operativo del Brewer en diferentes sistemas operativos, sin la limitación real de usarlo solo en versiones de Windows de 32 bits. Con un acceso abierto al código fuente del proyecto, se abre la puerta a una amplia variedad de modificaciones y personalizaciones, que posibilita el desarrollo de nuevas rutinas experimentales e intercomunica el software del Brewer con otras aplicaciones.

Daniel Santana y Néstor Morales han desarrollado este proyecto con la colaboración de los miembros del RBCC-E Alberto Redondas, Sergio León, Virgilio Carreño y el Dr. Manuel Rodríguez Valido como coordinador del departamento de Sensores Inteligentes de Ingeniería Industrial de la Universidad de La Laguna, y con la participación de la empresa Sieltec.

El proyecto tomó como punto de partida un intérprete GWBASIC ya existente, realizado por Rob Hagemans (PCBASIC), en el que de forma colaborativa se modificó el código fuente para permitir una adecuada comunicación con los espectrofotómetros Brewer, utilizando modernos ordenadores con procesadores de 64 bits.

El código del proyecto resultante, denominado PCBRW, es de código abierto lo que permite una amplia variedad de posibilidades de investigación como la opción de interceptar las comunicaciones entre el instrumento y el intérprete, ejecutar rutinas de Python desde el código BASIC, e interconectar el software del Brewer con otras aplicaciones. Pueden obtenerse instrucciones más detalladas consultando la información pertinente en el repositorio de PCBRW: <https://github.com/Danitegue/PCBRW>.

### 17.5.5 Actividades de formación

El RBCC-E, junto con la OMM y el PNUMA y la acción EUBREWNET, participan en la formación y en la creación de capacidad mediante la organización de cursos y talleres para operadores que brindan instrucción e intercambio de conocimientos especializados utilizando la gran experiencia disponible. También se apoyan de forma activa los programas de seguimiento en los países en desarrollo. Se han realizado diversas actividades de formación durante el periodo 2017-2018, como se expone más adelante.

#### Taller final de ATMOZ durante la 12.<sup>a</sup> campaña de calibración del RBCC-E, Huelva, 2 de junio de 2017

El taller final del Proyecto de investigación conjunta de ATMOZ del Programa europeo de investigación en metrología (EMRP) se llevó a cabo en El Arenosillo coincidiendo con la 12.<sup>a</sup> campaña de calibración del RBCC-E.

Este taller resumió los resultados del proyecto, cuyo principal objetivo era mejorar la caracterización y la calibración de los





**Figura 17.10. Participantes en el Taller final de ATMOZ durante la 12.ª campaña de calibración del RBCC-E, Huelva, 2 de junio de 2017.**

instrumentos Dobson y Brewer, en particular involucrando a los instrumentos de referencia de cada red, con el fin de explicar las diferencias registradas en la vigilancia mundial de la columna de ozono total de la superficie terrestre cuando se utilizan diferentes tipos de instrumentos.

#### **Sexto curso para operadores Brewer de la VAG de la OMM, Sídney (Australia), 4 a 9 de septiembre de 2017**

El evento fue organizado por la Oficina de Meteorología en Sídney (Australia), del 4 al 9 de septiembre de 2017. La escuela de capacitación se centró en las cuestiones operativas, científicas y técnicas del instrumento Brewer.

El espectrofotómetro de ozono Brewer se usa ampliamente en todo el mundo para llevar a cabo mediciones terrestres de columnas de ozono total y también puede proporcionar datos espectrales solares de radiación UV, espesor óptico de los aerosoles, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, además de perfiles verticales de ozono realizados con mediciones Umkehr.

El curso de capacitación, que fue principalmente práctico, abarcó los temas de la operación básica del instrumento Brewer y la reducción de datos.



**Figura 17.11. Participantes en el Sexto curso para operadores Brewer de la VAG de la OMM, Sídney (Australia), 4 a 9 de septiembre de 2017.**

## **17.6 Homenaje a Ken Lamb**

En estas páginas queremos rendir un sincero homenaje a nuestro querido amigo Ken Lamb, fallecido el 25 de mayo de 2017. Ken instaló y calibró el primer Brewer en 1991 y desde entonces nos ha acompañado calibrando regularmente nuestro Brewer y colaborando con el RBCC-E desde su creación en 2003. Siempre nos ayudó en los momentos más difíciles, y este centro de calibración nunca hubiera existido sin su ayuda, apoyo y enseñanzas. Siempre lo recordaremos; Ken Lamb fue ante todo una buena persona dispuesta a ayudar en cada situación.



**Figura 17.12. Ken Lamb y Alberto Redondas (foto de Geir Braathen).**



**Figura 17.13. Herber Schill, Ken Lamb, Juanjo Rodríguez, Julian Groebner, Martin Stanek, Bonawentura Rajewska-Wiech, Janusz Jaroslawski, Rene Stuevi y Alberto Redondas durante la primera campaña de Arosa, 2008.**



**Figura 17.14. Alberto Redondas, Carmen Guirado, Jorge Celso, José María Fernández y Ken Lamb durante una calibración del Brewer de Izaña en el IZO.**

## 17.7 Referencias

- Fioletev, V. E., Kerr, J. B., McElroy, C. T., Wardle, D. I., Savastiouk, V., Granjkar, T. S.: The Brewer reference triad, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L208805. 2005.
- León-Luis, S. F., Redondas, A., Carreño, V., López-Solano, J., Berjón, A., Hernández-Cruz, B. and Santana-Díaz, D.: Internal consistency of the Regional Brewer Calibration Centre for Europe triad during the period 2005-2016. *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 4059-4072, 2018.
- Redondas, A., Carreño, V., León-Luis, S. F., Hernández-Cruz, B., López-Solano, J., Rodríguez-Franco, J. J., Vilaplana, J. M., Gröbner, J., Rimmer, J., Bais, A. F., Savastiouk, V., Moreta, J. R., Boulkelia, L., Jepsen, N., Wilson, K. M., Shirov, V. and Karppinen, T.: EUBREWNET RBCC-E Huelva 2015 Ozone Brewer Intercomparison. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(13), 9441-9455, doi:<https://doi.org/10.5194/acp-18-9441-2018>, 2018.
- Stübi, R., Schill, H., Klausen, J., Vuilleumier, L. and Ruffieux, D.: Reproducibility of total ozone column monitoring by the Arosa Brewer spectrophotometer triad, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(8), 4735-4745, doi:10.1002/2016JD025735, 2017.

## 17.8 Personal

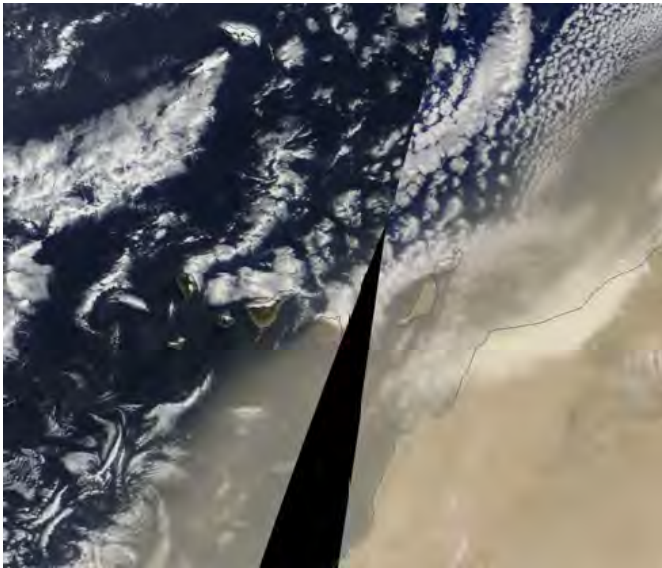
- Alberto Redondas Marrero (AEMET; investigador principal responsable del RBCC-E);  
Virgilio Carreño (AEMET; observador meteorológico y técnico de la VAG);  
Dr. Sergio Fabián León Luis (AEMET; investigador científico);  
Dr. Javier López Solano (TRAGSATEC; investigador científico);  
Dr. Alberto Berjón (TRAGSATEC; investigador científico);  
Daniel Santana (Sieltec/LuftBlick; investigador científico);  
Bentorey Hernández Cruz (ULL; investigador científico), dejó el CIAI en julio de 2018;  
Dr. Francisco Parra Rojas (UIAPR; profesor investigador);  
Dr. Manuel Rodríguez Valido (ULL, investigador científico).



**Figura 17.15.** Los miembros del equipo del RBCC-E.  
De izquierda a derecha: A. Redondas, A. Berjón,  
J. López-Solano, B. Hernández Cruz, V. Carreño,  
M. Rodríguez Valido, D. Santana y S. León Luis.



## 18 Centros de actividades sobre tormentas de polvo y arena



**Figura 18.1.** El espectrorradiómetro de formación de imágenes de resolución moderada (MODIS) del satélite Terra de la NASA adquirió esta imagen en color natural del polvo que afecta a la costa del Sahara Occidental y Marruecos, e impacta en la mitad de las islas Canarias en niveles medios, el 18 de julio de 2018. En niveles inferiores, se observan los estratocúmulos asociados con los vientos alisios.

El CIAI participa activamente en la planificación estratégica de actividades, el asesoramiento científico sobre la observación de aerosoles y polvo atmosférico, así como en las iniciativas de creación de capacidad y formación de dos centros dedicados a las actividades en materia de tormentas de polvo y arena: 1) el Centro Regional para el Norte de África, Oriente Medio y Europa del Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena (SDS-WAS), y 2) el Centro de Predicción del Polvo Atmosférico de Barcelona (BDFC).

### 18.1 Centro Regional del Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena

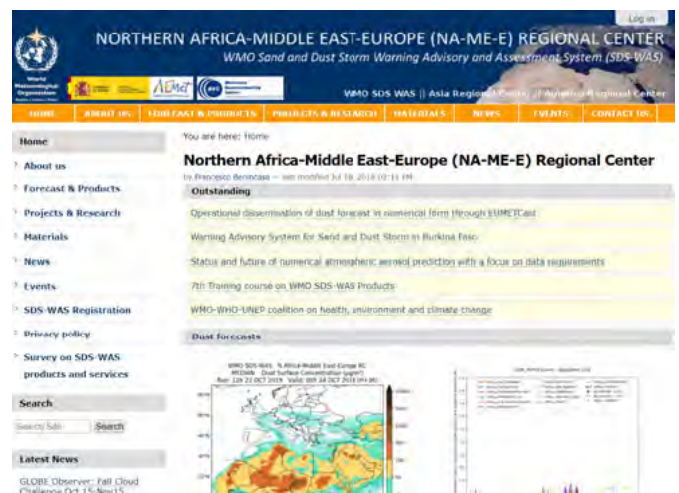
El Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena (SDS-WAS) es un programa de la Organización Meteorológica Mundial que tiene la misión de mejorar la capacidad de los países para entregar información oportuna y cualitativa relacionada con las predicciones de tormentas de polvo atmosférico y arena, las observaciones dirigidas a los usuarios finales, y para aumentar el conocimiento de este fenómeno.

El Centro Regional para el Norte de África, Oriente Medio y Europa se creó en 2007 para coordinar las actividades del SDS-WAS dentro de esta región. El Centro, como consorcio de la Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET) y el Centro Nacional de Supercomputación (BSC-CNS), pronto se convirtió en una estructura que acogió la cooperación internacional e interdisciplinaria en materia de investigación entre

numerosas organizaciones dentro y fuera de la región, incluidos servicios meteorológicos nacionales, agencias de protección ambiental, grupos de investigación y organizaciones internacionales.

El portal web del Centro (fig. 18.2) se convirtió en un lugar donde los visitantes podían encontrar las últimas observaciones relacionadas con el polvo atmosférico y las predicciones experimentales del mismo más actualizadas. Las actividades realizadas por el Centro Regional del SDS-WAS se han difundido ampliamente en talleres y conferencias internacionales (Basart *et al.*, 2018a; Cuevas *et al.*, 2017b, 2017c). En Terradellas *et al.* (2016) se puede encontrar una descripción detallada de las principales actividades que lleva a cabo el Centro Regional del SDS-WAS.

Para que cualquier sistema de predicción y alerta temprana pueda monitorizar, validar y evaluar en tiempo real los productos de predicción, así como para realizar la asimilación de datos, resulta fundamental contar con una red de observación mundial. Las principales fuentes de datos son las mediciones de aerosoles *in situ* llevadas a cabo en estaciones de control de la calidad del aire, las observaciones indirectas (visibilidad y tiempo presente) de las estaciones meteorológicas, las mediciones fotométricas solares (por ejemplo, de la red AERONET), el lidar y los ceilómetros, y los productos de satélite.



**Figura 18.2.** Portal web del Centro Regional del SDS-WAS.

El intercambio de productos de predicción es una parte fundamental del programa SDS-WAS de la OMM y la base de la iniciativa conjunta de visualización y evaluación. El portal web ofrece predicciones de polvo atmosférico en paralelo (concentración de polvo en superficie y espesor óptico del polvo a 550 nm) generadas por 12 sistemas de modelización, así como la mediana multimodelo. Los modelos utilizados son los siguientes: BSC-DREAM8b\_v2, CAMS-ECMWF, DREAM8-NMME-MACC, NMMB/BSC-Dust, NASA GEOS-5, NCEP-NGAC, EMA RegCM4, UK Met Office, DREAMABOL, NOAA-WRF-CHEM, SILAM y LOTOS-EUROS.



Una fase importante de cualquier sistema de predicción es la evaluación de los productos. El objetivo principal de este proceso es evaluar si los sistemas de modelización simulan de manera satisfactoria la evolución de los parámetros relacionados con el polvo. Además, la evaluación mejora la comprensión de las capacidades, limitaciones y adecuación de los modelos para el fin para el que fueron diseñados. La evaluación se realiza comparando las predicciones de los modelos con los datos de observación. Las predicciones de los modelos individuales y de la mediana multimodelo del espesor óptico del polvo (DOD) a 550 nm se comparan con las observaciones de AERONET del espesor óptico de los aerosoles (AOD) para 40 estaciones seleccionadas donde suelen ocurrir episodios de polvo. Además de esta evaluación en tiempo casi real, se ha puesto en marcha un sistema para evaluar cuantitativamente el rendimiento de los diferentes modelos que proporciona puntuaciones de evaluación calculadas a partir de la comparación del DOD simulado con las recuperaciones de los datos de AOD de AERONET.

El Centro Regional del SDS-WAS trabaja para fortalecer las posibilidades de cada país de utilizar los productos de observación y predicción distribuidos en el marco del programa SDS-WAS de la OMM en asociación con los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) de la región y con otras organizaciones relevantes.

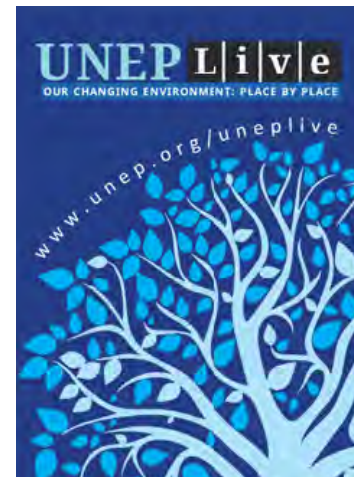
### 18.1.1 Actividades e hitos más importantes del periodo 2017-2018

La Organización Meteorológica Mundial lanzó a principios de 2017 un vídeo informativo sobre las tormentas de arena y polvo y sus impactos en sectores como el clima, la salud humana y el medio ambiente. La OMM destaca la importancia de evaluar estos impactos y de desarrollar productos para orientar las políticas de preparación, adaptación y mitigación. El citado vídeo puede de manifiesto que el Centro de Predicción del Polvo Atmosférico de Barcelona, como asociado de la OMM, desempeña un papel fundamental en este campo. Kofi Annan, exsecretario general de las Naciones Unidas, aparece en este documental destacando la importancia de que las autoridades internacionales y las organizaciones nacionales y locales trabajen juntas.



Figura 18.3. El exsecretario general de las Naciones Unidas, Kofi Annan, durante su intervención en el documental sobre SDS-WAS emitido por la OMM.

Las predicciones de polvo elaboradas por el Centro Regional para el Norte de África, Oriente Medio y Europa del SDS-WAS y el Centro de Predicción del Polvo Atmosférico de Barcelona de la OMM, se continúan difundiendo a través de la plataforma UNEPLive, gestionada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.



En 2016, EUMETSAT recolocó el Meteosat-8, la primera unidad de satélites MSG, en la longitud 41,5 °E, para continuar la cobertura de datos del océano Índico, lo que permite generar el producto RGB-Dust para la región de Asia Occidental, donde la cobertura era deficiente a través de los satélites MSG centrados en 0°. Desde que empezó a funcionar, el SDS-WAS ofrece acceso al producto EUMETSAT RGB-Dust, generado a partir de imágenes de Meteosat-8, para la región de Oriente Medio.

En marzo de 2017 la OMM publicó el primer número del «Airborne Dust Bulletin (Boletín sobre el polvo en suspensión en el aire)» (fig. 18.4). Este primer boletín informa sobre la concentración atmosférica de polvo mineral durante 2016, su distribución geográfica y su variación interanual. Uno de los mayores problemas estriba en la disponibilidad limitada de observaciones de polvo adecuadas. La publicación también informa sobre dos destacados episodios de polvo que ocurrieron durante el año, en Asia Oriental y el Caribe. Por último, incluye tres artículos breves sobre polvo en las altas latitudes, sobre el producto EUMETSAT RGB-Dust y acerca de una red internacional financiada por la UE para fomentar el uso de productos de seguimiento y predicción del polvo atmosférico. En abril, se publicó una versión corta (sin noticias ni eventos) en los demás idiomas oficiales de la OMM (árabe, chino, español y francés), así como en soporte impreso en papel.



Figura 18.4. Boletín de la OMM sobre el polvo en suspensión en el aire, núm. 1, 2017.

El 29 de septiembre de 2017, el Centro Nacional de Supercomputación de Barcelona acogió la reunión de lanzamiento del proyecto de Evaluación de tormentas de polvo para el desarrollo de servicios climáticos orientados al usuario en África del Norte, Oriente Medio y Europa (DustClim), financiado por el Espacio europeo de investigación para los servicios climáticos de la UE (ERA4CS). Cinco instituciones europeas (Centro Nacional de Supercomputación y AEMET, España; Centro Nacional de Investigación Científica, Francia; Instituto Meteorológico Finlandés, Finlandia; y Consejo Nacional de Investigaciones, Italia) forman parte de este proyecto, que está dirigido por la Dra. Sara Basart como IP.



La Red internacional para fomentar el uso de productos de seguimiento y predicción del polvo atmosférico (InDust) es una acción COST europea (CA16202). InDust comenzó en noviembre de 2017 y está financiado por un periodo de 4 años. Su objetivo general es establecer una red de información sobre el polvo en suspensión en la que participen instituciones de investigación, proveedores de servicios y posibles usuarios finales. En la medida que el transporte de polvo en suspensión tiene efectos multidisciplinares y transversales a escalas local, regional y mundial, InDust involucra a un grupo multidisciplinar de expertos internacionales en medición y modelización regional de aerosoles, a las partes interesadas y a los científicos sociales. InDust también busca coordinar y armonizar el proceso de transferencia de datos de observación y predicción del polvo atmosférico a los usuarios, así como ayudar a los diversos sectores socioeconómicos afectados por la presencia de altas concentraciones de polvo mineral en el aire.

# InDust

Estos objetivos se alinean con la misión del programa SDS-WAS de la OMM. Cabe esperar que InDust coopere en gran medida con el SDS-WAS y lleve a lograr mejoras en los productos entregados por el Centro de Predicción del Polvo Atmosférico de Barcelona, que es el centro designado por la OMM para generar y distribuir predicciones operativas de polvo a los SMHN de África del Norte, Oriente Medio y Europa.

La Infraestructura europea de datos (EUDAT) se puso en marcha con el objetivo de ofrecer una solución paneuropea al problema de la proliferación de datos en las comunidades científica e investigadora de Europa. La misión de EUDAT es diseñar, desarrollar, implementar y ofrecer servicios de datos comunes a todos los investigadores y colectivos científicos interesados. Obviamente, estos servicios de datos comunes deben caracterizarse por reunir determinados requisitos como su relevancia para varias comunidades, su disponibilidad a nivel europeo y

su alto grado de accesibilidad. El SDS-WAS está trabajando actualmente con EUDAT para poner en marcha una combinación de almacenamiento federado con una interfaz web que ponga a disposición de la comunidad una gran cantidad de conjuntos de datos de polvo atmosférico.



En 2015, AERONET evolucionó hacia el uso de un nuevo conjunto de algoritmos de procesamiento (versión 3 de AERONET). El desencadenante principal para el lanzamiento de la versión 3 radica en la detección de nubes de las observaciones directas al sol. Después de comprobar que el espesor óptico del polvo atmosférico obtenido a partir de simulaciones de modelos presenta una mejor correlación espacio-temporal con las recuperaciones de AERONET V3 que con las de la versión anterior (Basart, 2017d), el Centro Regional del SDS-WAS comenzó a utilizar la nueva versión de los productos AERONET para su evaluación de las predicciones. Los resultados obtenidos con las dos versiones están disponibles para 2017.



Los responsables de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la OMM han puesto en marcha una nueva coalición mundial sobre salud, medio ambiente y cambio climático. Uno de sus objetivos generales es reducir los 12,6 millones de muertes anuales causadas por riesgos ambientales, y especialmente por la contaminación atmosférica. Muchos contaminantes que dañan la salud también son perjudiciales para el medio ambiente y contribuyen al cambio climático como, por ejemplo, el carbón negro de los motores diésel, las estufas de cocina y la incineración de desechos, y el ozono a nivel del suelo, que son dañinos aunque de corta duración en la atmósfera.





Se estima que las reducciones en las emisiones de contaminantes climáticos de corta duración provenientes de fuentes como el tráfico rodado, las estufas, la agricultura y la industria podrían ayudar a recortar la tasa de calentamiento global en unos 0,5 °C para 2050.

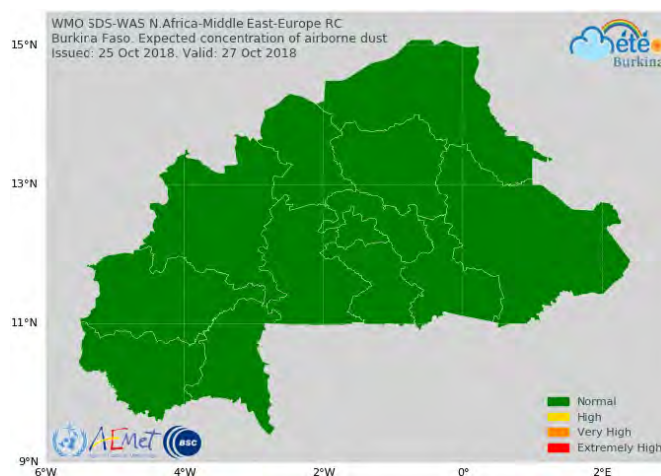
La coalición comienza con un enfoque conjunto en la calidad del aire que describe cinco áreas de trabajo en común. La red de observación de la OMM, su sistema de alerta y aviso de tormentas de arena y polvo, y sus estaciones de vigilancia de la atmósfera global, que monitorizan la atmósfera, serán la base del impulso mundial para cartografiar y vigilar mejor la calidad del aire. El SDS-WAS puede desempeñar un papel importante a la hora de saber cuándo y dónde pueden producirse las tormentas de polvo, para permitir que los socios del mundo sanitario planifiquen de forma más eficaz y se beneficien de la capacidad de la OMM para vigilar y predecir el comportamiento de la atmósfera mundial en los episodios críticos de calidad del aire peligrosa, como es el caso de las tormentas de polvo.

El producto de visibilidad se ha actualizado. Las mediciones *in situ* de la concentración de partículas son sistemáticas y con una alta densidad espacial en Europa, pero muy escasas, discontinuas y rara vez están disponibles en tiempo casi real en las proximidades de las principales fuentes de polvo. Aunque los productos satelitales presentan una cobertura global, por lo general integran el contenido de aerosoles sobre la columna vertical y no brindan información sobre el contenido de polvo cerca del suelo. Dado que los registros meteorológicos poseen una excelente cobertura espacial y temporal, los datos de visibilidad incluidos en las observaciones meteorológicas se pueden utilizar como una forma alternativa de vigilar los episodios de polvo.

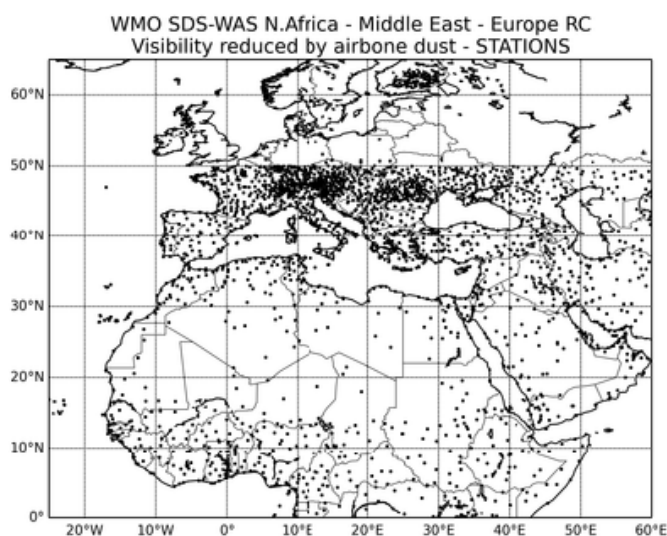
La visibilidad se ve afectada principalmente por la presencia de aerosoles y agua en la atmósfera. Por tanto, el uso de los datos de visibilidad debe complementarse con información acerca del tiempo presente para descartar aquellos casos en los que la

visibilidad se vea reducida por la presencia de hidrometeoros (niebla, lluvia, etc.). El sitio web del SDS-WAS publica mapas que muestran casos de reducción de visibilidad por arena o polvo a menos de 5 km reportados en los boletines METAR o SYNOP. El producto actualizado se basa en informes de más de 2500 estaciones, que se verifican cada 6 horas. Los círculos marrones indican estaciones donde se ha informado explícitamente de la presencia de «arena» o de «polvo». Los triángulos señalan estaciones donde en el tiempo presente se ha informado de «calima», lo que significa que la visibilidad está reducida por partículas de origen no especificado.

En las 13 regiones administrativas en las que se divide el territorio de Burkina Faso se ha puesto en marcha un sistema de avisos de tormentas de arena y polvo. Su fundamento es un producto universalmente conocido basado en mapas codificados por colores que indican el riesgo de altas concentraciones de polvo durante las próximas 48 horas. Este sistema ha sido diseñado y es operado por AEMET y el BSC en colaboración con la Agencia Meteorológica Nacional de Burkina Faso, y ha sido publicado por el SDS-WAS de la OMM.



**Figura 18.6. Ejemplo gráfico de la concentración de polvo en suspensión prevista por el SDS-WAS en Burkina Faso para el 27 de octubre de 2018.**



**Figura 18.5. Mapa con las localizaciones de las estaciones con mediciones de visibilidad utilizadas por el Centro Regional para el Norte de África, Oriente Medio y Europa del SDS-WAS de la OMM para evaluar la visibilidad reducida por el polvo en suspensión en el aire.**

Los niveles de alerta se calculan a partir de la base del consenso de predicciones numéricas publicadas por diferentes servicios meteorológicos y centros de investigación de todo el mundo. Burkina Faso es un país africano sin salida al mar que se encuentra en la zona de transición entre el Sahara al norte y la región ecuatorial húmeda al sur. Su clima es principalmente tropical con una temporada de lluvias que va de mayo/junio a septiembre, un poco más corta en la zona norte del país, y una estación seca, cuando el viento seco y cálido llamado Harmattan sopla desde el Sahara.

Durante la estación seca, las frecuentes tormentas de polvo constituyen una de las principales amenazas meteorológicas que afectan a la población. El polvo suspendido en el aire supone graves riesgos para la salud humana y algunas enfermedades infecciosas se han asociado con él. Los brotes de meningitis meningocócica, una infección bacteriana de la fina capa de tejido que rodea el cerebro y la médula espinal, ocurren en todo el mundo, pero la incidencia más alta se encuentra en el «cinturón



de la meningitis», una parte del África subsahariana que se extiende desde Senegal hasta Etiopía e incluye todo el territorio de Burkina Faso. Este sistema se describe en Terradellas *et al.* (2018).

En 2018, se inició un proyecto piloto de dos años de duración para poner en marcha un sistema de alerta de polvo en superficie basado en las salidas de un ensamblaje del modelo del Centro Regional del SDS-WAS, mejorándolo con técnicas de aprendizaje automático utilizando las observaciones de PM10 de la red de vigilancia de la contaminación atmosférica del Gobierno de Canarias y otra información auxiliar. Un análisis preliminar consistió en evaluar las predicciones de concentración de polvo en superficie de cada uno de los modelos participantes en el SDS-WAS (García-Castrillo y Terradellas, 2017).



Figura 18.7. Localizaciones utilizadas para la evaluación de las predicciones de polvo en Canarias.

### 18.1.2 Contribuciones científicas del Centro Regional del SDS-WAS

El CIAI y AEMET contribuyen a las actividades científicas del Centro Regional para el Norte de África, Oriente Medio y Europa del SDS-WAS a través de varios estudios multidisciplinarios.

El CIAI dirigió un estudio sobre la naturaleza pulsante del transporte de polvo sahariano a gran escala como resultado de la interacción entre las ondas de Rossby de latitudes medias y la intensidad del dipolo norteafricano (Cuevas *et al.*, 2017).

El objetivo principal de este estudio fue explicar los procesos atmosféricos que subyacen en las variaciones intraestacionales de las irrupciones de polvo hacia el Mediterráneo y el Atlántico Norte subtropical. Se utilizaron datos diarios y mensuales del espesor óptico de los aerosoles determinado por MODIS, reanálisis de NCEP/NCAR, reanálisis del ECMWF y reanálisis MACC (hoy CAMS).

El concepto de intensidad del dipolo norteafricano (NAFDI), introducido por Rodríguez *et al.* (2015), se utilizó para lograr este objetivo. Se define como la diferencia de la anomalía de la altura geopotencial de 700 hPa entre los subtropicos y los trópicos sobre el norte de África. Básicamente, la NAFDI representa la anomalía a gran escala del viento geostrofico a 700 hPa (unos 3000 m de altitud) sobre el norte de África. Bajo un índice NAFDI positivo, hay mayores irrupciones de polvo hacia el Atlántico Norte subtropical (fig. 18.8), mientras que con una NAFDI negativa se observa una anomalía de polvo positiva sobre el Mediterráneo central y occidental. El primer objetivo era demostrar que existe una variación intraestacional de verano de la NAFDI

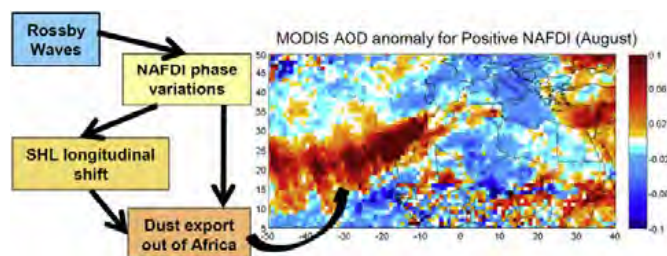


Figura 18.8. Resumen gráfico. Reproducido de Cuevas *et al.* (2017).

(junio-septiembre), y que modula las irrupciones de polvo sahariano no solo hacia el Atlántico sino también hacia la cuenca del Mediterráneo.

El segundo problema a abordar consiste en identificar los mecanismos físicos que están detrás de la conexión entre la NAFDI y la baja térmica sahariana (SHL), que es bien conocida por modular numerosos procesos meteorológicos de mesoescala que dan lugar al desplazamiento de polvo sahariano. La localización e intensidad de las fuentes de polvo y de las irrupciones de polvo sobre el norte de África dependen en gran medida de la posición de la SHL, que se puede encontrar más desplazada hacia el este o hacia el oeste y, por lo tanto, condicionando la localización e intensidad de las fuentes de polvo, aunque, hasta ese momento, se desconocían los procesos que controlaban estos desplazamientos longitudinales. Por otro lado, las anomalías de diferentes campos meteorológicos, como la temperatura y el viento a 925 hPa, así como el espesor geopotencial de la capa de 700-925 hPa, para NAFDI positiva (negativa) coincidieron con las encontradas por otros autores asociadas a la fase occidental (oriental) de la SHL.

Sin embargo, la pregunta más importante seguía sin respuesta: ¿qué mecanismo atmosférico explica las variaciones de la NAFDI y la SHL, que muestran un periodo variable de entre 10 y 30 días? Partiendo del muy interesante trabajo de Chauvin *et al.* (2010), y teniendo en cuenta el principio general de la física por el cual los procesos de mayor escala espacial modulan a los procesos más pequeños, se demuestra que la respuesta se encuentra en las ondas de Rossby de latitudes medias que penetran en la troposfera inferior sobre el norte de África.

Un estudio reciente presenta un nuevo sistema basado en radiómetros cenitales de banda estrecha (ZEN), concebido para monitorizar el AOD del polvo (fig. 18.9). El ZEN consta de un radiómetro ZEN-R41, que mide la radiación cenital del cielo (ZSR) descendente en cuatro canales (870, 675, 500 y 440 nm), y una metodología para la determinación del AOD (ZEN-LUT). El radiómetro ZEN-R41, diseñado para funcionar de forma autónoma y sin partes móviles, es un instrumento robusto, automatizado y de bajo coste con menor mantenimiento que los fotómetros solares comunes. Por lo tanto, resulta adecuado para su despliegue en áreas desérticas remotas y despobladas.

El método ZEN-LUT, basado en metodologías aplicadas a los sensores satelitales, utiliza un código de transferencia radiativa para simular las ZSR y sus AOD asociados. Este método ha sido desarrollado utilizando información de los fotómetros solares Cimel-AERONET. Los resultados del estudio preliminar, realizado en el IZO, el SCO y Tamanrasset (Argelia), sugieren que el método



**Figura 18.9.** El radiómetro ZEN-R41 instalado en el SCO (en primer plano).

ZEN-LUT es apropiado para inferir el AOD del polvo a partir de las medidas de ZSR por parte de los ZEN-R41. La comparación entre los datos obtenidos con el método ZEN-LUT y AERONET arroja correlaciones ( $R^2$ ) que van desde 0,99 para Santa Cruz y 0,97 para Tamanrasset.

La conclusión es que el ZEN es un sistema adecuado para rellenar los vacíos de observación de hoy en día y para complementar las observaciones realizadas por las redes actuales de fotómetros solares con el fin de mejorar la monitorización del polvo mineral en localizaciones remotas. En consecuencia, puede desempeñar un papel clave a la hora de ofrecer información para la asimilación de datos en modelos numéricos, y para la validación de los productos satelitales y los sistemas de alerta temprana en el seno del SDS-WAS. El desarrollo del instrumento y la metodología para el cálculo del AOD han sido concebidos, diseñados, implementados y validados en su totalidad en el CIAI como una de las actividades del Banco de pruebas para instrumentos de teledetección de aerosoles y vapor de agua de la CIMO de la OMM. Este estudio ha sido publicado por Almansa *et al.* (2017) (más detalles en la sección 20.5).

### 18.1.3 El SDS-WAS y el servicio CAMS-84 de Copernicus

El programa Copernicus, anteriormente conocido como GMES (Vigilancia mundial del medio ambiente y de la seguridad), consta de un conjunto complejo de sistemas que recopilan datos de múltiples fuentes: satélites de observación terrestre y



sensores *in situ* como estaciones terrestres y sensores aéreos y marítimos. El programa procesa estos datos y ofrece a los usuarios información fidedigna y actualizada a través de un conjunto de servicios relacionados con temas ambientales y de seguridad.

El Servicio de Vigilancia de la Atmósfera del Programa Copernicus (CAMS) se ha desarrollado para afrontar los problemas ambientales, proporcionando datos e información procesada, con el fin de apoyar a las instancias normativas, al mundo empresarial y a los ciudadanos dotándoles de una mejor información sobre el medio ambiente atmosférico.

El CAMS-84 es una actividad de validación *a posteriori* global y regional, enfocada en las áreas árticas y mediterráneas. El Centro Regional del SDS-WAS, a través del BSC-CNS como asociado principal y AEMET como tercero, participa en el CAMS-84 ofreciendo validaciones y evaluación de productos de polvo atmosférico y aerosoles. Las actividades de validación en materia de polvo mineral se llevaron a cabo como servicios del CAMS-84 y se publicaron en forma de informes trimestrales. El Centro Regional del SDS-WAS participó en la elaboración de 13 informes durante el periodo 2017-2018 (Antonakaki *et al.*, 2017a, 2017b; Basart *et al.*, 2017a, 2017b, 2018b, 2018c; Douros *et al.*, 2017; Eskes *et al.*, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2108b; y Sudarchikova *et al.*, 2018).

### 18.1.4 Talleres y actividades de creación de capacidad

Durante el periodo 2017-2018 se llevaron a cabo las siguientes actividades de creación de capacidad:

El 11 de abril de 2017 se celebró en la sede de la OMM (Ginebra, Suiza) el evento «SDS-WAS: Observación y modelización del polvo atmosférico», coincidiendo con el Simposio de la VAG de 2017. El evento se centró en primer lugar en la necesidad de contar con diferentes comunidades de datos de observación: 1) la comunidad de modelización, para la asimilación de datos y la evaluación de predicciones; 2) los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales, para la vigilancia y predicción inmediata del polvo atmosférico; y 3) los usuarios finales de diferentes sectores (calidad del aire, salud, aviación, energía solar).

En segundo lugar, se revisó la situación actual de la observación de polvo atmosférico, describiendo las capacidades actuales y potenciales de diferentes plataformas (*in situ*, teledetección terrestre, satélites) así como su cobertura geográfica y la disponibilidad de datos. Se contó con las siguientes presentaciones: 1) Enric Terradellas (AEMET), necesidades de observación; 2) Emilio Cuevas (AEMET), observación terrestre; 3) Taichu Tanaka (Servicio Meteorológico del Japón), observación por satélite; y 4) Valentin Foltescu (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), visión del PNUMA.

El SDS-WAS contribuyó a la Conferencia internacional sobre la lucha contra las tormentas de arena y polvo celebrada en Teherán del 3 al 5 de julio de 2017. Esta conferencia fue organizada por el Departamento de Medio Ambiente y el Ministerio de Asuntos Exteriores de la República Islámica del Irán, con la cooperación del Departamento de entidades relevantes de la ONU. En particular, el SDS-WAS aportó su contribución a la





Sesión 4 (reconocimiento de fuentes, vigilancia, observación, predicción y sistemas de alerta temprana), moderada por Enric Terradellas (AEMET), con charlas de Bassem Katlan, especialista en degradación de la tierra del Centro Árabe para el Estudio de las Zonas Áridas y las Tierras Secas (ACSAD) y Ana Vukovic, investigadora de la Universidad de Belgrado (Serbia).

Entre otras prioridades, la conferencia debía considerar el establecimiento de una plataforma global para el diálogo y la coordinación de políticas en materia de tormentas de arena y polvo y contribuir al intercambio de conocimientos sobre políticas y buenas prácticas, y a la creación de capacidad. Todo ello se basaría en la estructura del SDS-WAS de la OMM y la ampliaría.

Del 23 al 25 de octubre de 2017 se celebró en Estambul (Turquía) el «Taller internacional sobre fuentes de polvo (regionales) de Oriente Medio y sus impactos» para compartir y evaluar la investigación científica de las fuentes, el transporte, el seguimiento y los impactos del polvo atmosférico. El objetivo principal de este taller fue intercambiar información y compartir experiencias entre los científicos interesados en este campo y las organizaciones afines para evaluar mejor las fuentes y los impactos del polvo en Oriente Medio. El taller se centró en los siguientes temas: 1) fuentes de polvo y seguimiento de los cambios en estas fuentes en la región de Oriente Medio; 2) interacción entre el polvo atmosférico y el clima en Oriente Medio; 3) predicción y modelización del polvo atmosférico; y 4) monitorización e impactos del transporte de polvo que afectan a Oriente Medio. El CIAI contribuyó con una conferencia sobre observaciones terrestres de polvo atmosférico.



Del 25 al 27 de octubre de 2017 se celebró en Estambul (Turquía) el sexto curso de formación sobre productos SDS-WAS de la OMM (observación satelital y terrestre y modelización del polvo atmosférico). Este curso de formación se centró en Asia occidental, la segunda mayor fuente de polvo atmosférico mundial después del desierto del Sahara. A diferencia del norte de África, donde los grandes centros de población se concentran a lo largo de las costas del Mediterráneo y del océano Atlántico, relativamente lejos de las fuentes de polvo, en Asia occidental la mayor parte de la población vive dentro de las fuentes de polvo o en sus proximidades. El impacto en la calidad del aire, en los ecosistemas y en muchas de las actividades económicas y sociales es, por tanto, de suma importancia.

AEMET ha publicado un vídeo acerca de los impactos significativos del polvo atmosférico sobre la calidad del aire y la salud, el transporte aéreo, los ecosistemas terrestres y marinos, el tiempo y el clima, y la producción de energía solar. El vídeo fue grabado con motivo de la celebración, el 22 de noviembre de 2017 en Madrid, de la conferencia de un día de duración sobre este tema, dirigida a usuarios potenciales de la información relacionada con el polvo atmosférico (más detalles en la sección 22.10).

Cooperación entre España e Irán en el marco de SDS-WAS. La Dra. Saviz Sehat Kashani, miembro académico del Centro de Ciencias Atmosféricas e Investigaciones Meteorológicas (ASMERG) de la Organización Meteorológica de la República Islámica del Irán (IRIMO), participó en el curso de formación sobre “Aerosoles atmosféricos y polvo mineral” que se llevó a cabo en el Observatorio de Izaña del 20 de junio al 6 de julio de 2017 (más detalles en la sección 21.1).

El curso de formación fue organizado por el Centro Regional para el Norte de África, Oriente Medio y Europa del SDS-WAS. La formación se realizó en las instalaciones del CIAI. Se dedicó una sesión especial de medio día para discutir con varios investigadores del CIAI la posible colaboración entre la IRIMO y AEMET en el marco de SDS-WAS. En el viaje de regreso a



Figura 18.10. La Dra. Saviz Sehat (abajo a la derecha) con los participantes del taller ACE20 junto a la puerta del laboratorio de investigación de aerosoles «Joseph M. Prospero», y con el profesor Prospero (de pie, tercero por la izquierda), el 5 de julio de 2017.



Teherán, la Dra. Saviz Sehat hizo una parada de un día en Barcelona, donde tuvo la oportunidad de conocer a investigadores del Centro Nacional de Supercomputación como la Dra. Sara Basart y la Dra. Enza Di Tomaso, con quienes analizó varios aspectos del sistema SDS-WAS y evaluó la posibilidad de unirse a las actividades de ese sistema en la validación de modelos y en la caracterización del polvo mineral para Irán, una región fundamental de la que existe muy poca información.

AEMET organizó el Taller de formación sobre tormentas de arena y polvo en África occidental en La Laguna (España), el 21 de mayo de 2018, en colaboración con la OMM, el BSC, EUMETSAT e InDust (Acción COST CA16202). Al evento asistieron 10 meteorólogos de países de África occidental más dos investigadores de los Emiratos Árabes Unidos y Corea del Sur. Los objetivos del taller fueron:

1) Aumentar la comprensión de los procesos físicos involucrados en el ciclo del polvo atmosférico y los impactos de este en la calidad del aire, la salud, la aviación y los diversos sectores socioeconómicos.

2) Mejorar las capacidades técnicas de los meteorólogos operativos de África occidental en el análisis y la predicción de tormentas de arena y polvo, incluyendo la utilización de las observaciones terrestres y satelitales, así como las predicciones disponibles de polvo atmosférico.

El evento fue presentado por Bernard Edward Gómez, representante de la OMM para África del Norte, Central y Occidental, por Carmen Rus, directora de Planificación, Estrategia y Desarrollo Comercial de AEMET, y por Antonio Conesa, funcionario de AEMET a cargo del proyecto de cooperación AFRIMET.

El equipo del SDS-WAS pronunció dos conferencias sobre el polvo en suspensión en el aire en la Escuela de verano de ERA4CS (Pisa, Italia, 10 a 14 de septiembre de 2018). La escuela de verano se centró en una visión multidisciplinar y actualizada de las últimas observaciones, modelos, proyecciones, estrategias de adaptación y servicios para mitigar los impactos del cambio climático con investigación y enseñanza. La Escuela



**Figura 18.11.** Participantes del taller de formación sobre «Tormentas de arena y polvo en África occidental», celebrado en La Laguna (España), el 21 de mayo de 2018.



de verano de ERA4CS invitó a jóvenes investigadores de todos los campos de la investigación climática. Los cursos abarcaron un amplio espectro de temas de investigación sobre el clima y sus impactos, y fomentaron vínculos interdisciplinarios. Cada tema incluyó conferencias plenarias magistrales y una mesa redonda con discusiones en profundidad en grupos más pequeños.

## 18.2 El Centro de Predicción del Polvo Atmosférico de Barcelona

En mayo de 2013, ante la demanda de muchos servicios meteorológicos nacionales y los buenos resultados obtenidos por el SDS-WAS relacionados con la puesta en operatividad, la 65.ª reunión del Consejo Ejecutivo de la OMM designó al consorcio formado por AEMET y el BSC-CNS para crear en Barcelona el primer Centro Meteorológico Regional Especializado en la predicción de tormentas de arena y polvo atmosférico (RSMC-ASDF). El Centro genera y distribuye operativamente predicciones para el norte de África (norte del ecuador), Oriente Medio y Europa.

El Centro de Predicción del Polvo Atmosférico de Barcelona elabora campos de predicción regional utilizando diariamente el modelo NMMB/BSC-Dust de forma continua durante todo el año (Terradellas *et al.*, 2015). El modelo consiste en un modelo de predicción numérica del tiempo que incorpora parametrizaciones en línea de todas las fases principales del ciclo del polvo atmosférico. Se ejecuta a una resolución horizontal de 0,1 grados de longitud por 0,1 grados de latitud para un dominio que abarca el norte de África, Oriente Medio y Europa (25 °W-65 °E, 0°-65 °N). Este dominio cubre las principales áreas de origen del polvo atmosférico en el norte de África y Oriente Medio, así como las principales rutas de transporte y zonas de deposición desde el ecuador hasta la península escandinava.

Tras sus esfuerzos por hacer que las predicciones lleguen a todos los usuarios potenciales y, en particular, a los SMHN, el BDFC comenzó a difundir las predicciones de polvo a través del servicio EUMETCast en noviembre de 2015.

## 18.3 Cambio de director técnico de los dos centros regionales de polvo atmosférico de la OMM

En 2018 y parte de 2017 se llevó a cabo una cuidada y prolongada labor de transferencia de conocimientos para asegurar el cambio fluido de director técnico de los dos centros. Enric Terradellas (AEMET) se jubiló en abril de 2019 y Ernest Werner (AEMET) asumió el cargo de director técnico. El magnífico trabajo realizado durante todos estos años por Enric para establecer primero, y consolidar después, los dos centros regionales del polvo atmosférico de la Organización Meteorológica Mundial, merece todos nuestros más sinceros elogios y agradecimientos. Ha sido un placer colaborar con él y contar con su entusiasmo y determinación. Nuestros mejores deseos para Enric en su nueva vida, lo extrañaremos mucho. La dirección técnica del Centro Regional para el Norte de África, Oriente Medio y Europa del SDS-WAS y del Centro de Predicción del Polvo Atmosférico de Barcelona se ejercerá con no menos ilusión y dedicación por parte de Ernest a partir de 2019, al que daremos todo nuestro apoyo desde el CIAI.

## 18.4 Referencias

- Almansa, A. F., Cuevas, E., Torres, B., Barreto, Á., García, R. D., Cachorro, V. E., de Frutos, Á. M., López, C., Ramos, R.: A new zenith-looking narrow-band radiometer-based system (ZEN) for dust aerosol optical depth monitoring, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 565-579, doi:10.5194/amt-10-565-2017, 2017.
- Antonakaki, T., Basart, S., Benedictow, A., Blechschmidt, A.-M., Chabrilat, S., Clark, H., Cuevas, E., Eskes, H. J., Hansen, K. M., Im, U., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Petersen, K., Richter, A., Schulz, M., Sudarchikova, N., Thouret, V., Wagner, A., Zerefos, C.: Upgrade verification note for the CAMS near-real time global atmospheric composition service, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2394630730, 2017a.
- Antonakaki, T., Basart, S., Benedictow, A., Blechschmidt, A.-M., Chabrilat, S., Christophe, Y., Clark, H., Cuevas, E., Eskes, H. J., Hansen, K. M., Im, U., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Ramonet, M., Richter, A., Schulz, M., Sudarchikova, N., Wagner, A., Warneke, T., Zerefos, C.: Evaluation of the CAMS 2010 reanalysis test run experiment gls8, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2394630729, 2017b.
- Basart, S., Blechschmidt, A.-M., Chabrilat, S., Clark, H., Cuevas, E., Eskes, H. J., Flentje, H., Hansen, K. M., Kapsomenakis, J., Katragkou, E., Langerock, B., Petersen, K., Ramonet, M., Richter, A., Schulz, M., Wagner, A., Zerefos, C.: Data Mining: potential new observations for the CAMS validation activity, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2394630726, 2017a.
- Basart, S., E. Cuevas, M. T. Pey and O. Jorba: CAMS-84 NRT report MAM 2017 and Dust Reanalysis 2003, Jornada Técnica sobre los servicios de Atmósfera y Clima de Copernicus, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), November 27th, 2017b.
- Basart, S., E. Cuevas, M. T. Pey and O. Jorba, CAMS-84 NRT report MAM 2017 and Dust Reanalysis 2003, Jornada Técnica sobre los servicios de Atmósfera y Clima de Copernicus, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), November 27th, 2017c.
- Basart, S.: Forecast Evaluation: AERONET vs. Multimodel Forecast for 2016; Technical Report SDS-WAS-2017-001, 7 pp, disponible en: <https://sds-was.aemet.es/materials/technicalreports/SDS-WAS-NAMEE-2017-001.pdf>, April 3th, 2017d.
- Basart, S., García-Castrillo, G., Cuevas, E., Goloub, P., Cazorla, A., Alastuey, A., Mortier, A., Benedetti, A and Terradellas, E.: Towards continuous evaluation of dust profiles in the WMO SDS-WAS. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018a.
- Basart, S., Benedictow, A., Bennouna, Y., Blechschmidt, A.-M., Chabrilat, S., Clark, H., Cuevas, E., Flentje, H., Hansen, K. M., Im, U., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Petersen, K., Richter, A., Sudarchikova, N., Thouret, V., Warneke, T., Zerefos, C.: Validation report of the CAMS nearreal time global atmospheric composition service March-May 2018, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2443544147, 2018b.
- Basart, S., Benedictow, A., Bennouna, Y., Blechschmidt, A.-M., Chabrilat, S., Christophe, Y., Clark, H., Cuevas, E., Eskes, H., Hansen, K. M., Im, U., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Petersen, K., Schulz, M., Wagner, A., Zerefos, C.: Addendum to: Upgrade verification note for the CAMS near-real time global atmospheric composition service Evaluation of the esuite experiment gu42, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2443544151, 2018c.
- Cuevas, E., A. J. Gómez-Peláez, S. Rodríguez, E. Terradellas, S. Basart, R. D. García, O. E. García, S. Alonso-Pérez: The pulsating nature of large-scale Saharan dust transport as a result of interplays between mid-latitude Rossby waves and the North African Dipole Intensity, *Atmospheric Environment*, 167, 586-602, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.059>, 2017a.
- Cuevas, E.: Ground Observation, SDS-WAS: Dust observation Side Event, GAW Symposium, WMO headquarters, Geneva, Switzerland, 10-13 April 2017b.
- Cuevas, E., E. Terradellas and S. Nickovic: Sand and Dust Storm Advisory, 10th Session WWRP Scientific Steering Committee (WWRP SSC10), Geneva, WMO Headquarters, 25-26 October 2017c.
- Douros, J., Basart, S., Benedictow, A., Blechschmidt, A.-M., Chabrilat, S., Christophe, Y., Clark, H., Cuevas, E., Eskes, H. J., Flentje, H., Hansen, K. M., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Petersen, K., Ramonet, M., Richter, A., Schulz, M., Wagner, A., Warneke, T., Zerefos, C.: Observations characterization and validation methods document, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2394630727, 2017.
- Eskes, H., Clark, H., Schulz, M., Christophe, Y., Ramonet, M., Basart, S., Benedictow, A., Blechschmidt, A.-M., Chabrilat, S., Cuevas, E., Flentje, H., Hansen, K. M., Im, U., Jossoud, O., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Petersen, K., Richter, A., Sudarchikova, N., Thouret, V., Wagner, A., Warneke, T., Zerefos, C.: Validation report for the CAMS global reanalyses of aerosols and reactive trace gases, year 2003, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2394630728, 2017a.
- Eskes, H. J., A. Wagner, M. Schulz, Y. Christophe, M. Ramonet, S. Basart, A. Benedictow, A.-M. Blehsmidt, S. Chabrilat, H. Clarck, E. Cuevas, H. Flentje, K. M. Hansen, U. Im, J. Kapsomenakis, B. Langerock, K. Petersen, A. Richter, N. Sudarchikova, V. Thouret, T. Warneke, C. Zerefos: Validation Report of the CAMS Near-Real Time Global Atmospheric Composition Service: December 2016-February 2017,

- Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, CAMS84\_2015SC2\_D84.1.1.7\_2017DJF\_v1.pdf, MAY 2017b.
- Eskes, H. J., A. Wagner, M. Schulz, Y. Christophe, M. Ramonet, S. Basart, A. Benedictow, A.-M. Blechschmidt, S. Chabbrillat, H. Clark, E. Cuevas, H. Flentje, K. M. Hansen, U. Im, J. Kapsomenakis, B. Langerock, A. Richter, N. Sudarchikova, V. Thouret, T. Warneke, C. Zerefos: Validation Report of the CAMS Near-Real-Time Global Atmospheric Composition Service: September-November 2016, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, CAMS84\_2015SC2\_D84.1.1.6\_2016SON\_v1.pdf, February 2017c.
- Eskes, H., Antonakaki, T., Basart, S., Benedictow, A., Blechschmidt, A.-M., Chabbrillat, S., Christophe, Y., Clark, H., Cuevas, E., Hansen, K. M., Im, U., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Petersen, K., Richter, A., Schulz, M., Sudarchikova, N., Thouret, V., Wagner, A., Zerefos, C.: Upgrade verification note for the CAMS near real time global atmospheric composition service Evaluation of the e-suite (experiment gp1p) for the period November 2016 - May 2017, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2443544157, 2018a.
- Eskes, H., Wagner, A., Schulz, M., Christophe, Y., Ramonet, M., Basart, S., Benedictow, A., Bennouna, Y., Blechschmidt, A.-M., Chabbrillat, S., Clark, H., Cuevas, E., Flentje, H., Hansen, K. M., Im, U., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Petersen, K., Richter, A., Sudarchikova, N., Thouret, V., Warneke, T., Zerefos, C.: Validation report of the CAMS nearreal time global atmospheric composition service December 2017 - February 2018, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2443544144, 2018a.
- Eskes, H., Wagner, A., Schulz, M., Christophe, Y., Ramonet, M., Basart, S., Benedictow, A., Bennouna, Y., Blechschmidt, A.-M., Chabbrillat, S., Clark, H., Cuevas, E., Flentje, H., Hansen, K. M., Im, U., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Petersen, K., Richter, A., Sudarchikova, N., Thouret, V., Warneke, T., Zerefos, C.: Validation report of the CAMS near-real-time global atmospheric composition service. Period September-November 2017, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2443486608, 2018b.
- García-Castriello, G. and E. Terradellas: Evaluation of the dust Forecasts in the Canary Islands, WMO SDS-WAS, Barcelona, 21 pp. SDS-WAS-2017-002, 2017.
- Sudarchikova, N., Basart, S., Katragkou, E., Petersen, K., Akritidis, S., Kartsios, S., Zanis, P., Melas, D., Chabbrillat, S., Christophe, Y., Ramonet, M., Bennouna, Y., Clark, H., Wagner, A., Schulz, M., Blechschmidt, A.-M., Cuevas, E., Flentje, H., Hansen, K. M., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Warneke, T., Eskes, H.: Compendium of case studies for the period 2015-2018, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2443544159, 2018.
- Terradellas, E., S. Basart and E. Cuevas: 2013-2015 Activity Report of the SDS-WAS Regional Center for Northern Africa, Middle East and Europe, Joint publication of AEMET and WMO; NIPO: 281-16-007-3; WMO/GAW Report No. 230; WMO/WWRP No. 2016-2, 2016.
- Terradellas, E., Werner, E., Basart, S., Benincasa, F.: Warning Advisory System for Sand and Dust Storm in Burkina Faso, WMO SDS-WAS, Barcelona, 9 pp. SDS-WAS-2018-001, 2018.

## 18.5 Personal

- Enric Terradellas (AEMET, ex director técnico del Centro Regional para el Norte de África, Oriente Medio y Europa del SDS-WAS, y del BDFC);
- Ernest Werner (AEMET, actual director técnico del Centro Regional para el Norte de África, Oriente Medio y Europa del SDS-WAS, y del BDFC);
- Dr. Emilio Cuevas (AEMET; asesor científico);
- Dra. Sara Basart (BSC; investigadora científica);
- Francesco Benincasa (BSC-AEMET; soporte técnico);
- Kim Serradell (BSC; soporte técnico);
- Dr. Sergio Rodríguez (AEMET; investigador científico; ahora en el CSIC);
- Dra. Natalia Prats (AEMET; investigadora científica).



## 19 Programa de hermanamiento con la estación VAG de Tamanrasset

En 2006, se inició el «hermanamiento en el marco del programa de la VAG» entre las estaciones de la VAG del IZO y de Tamanrasset con el proyecto de Caracterización de las masas de aire de la capa de aire sahariana (SALAM), que formaba parte de un programa de cooperación entre la Oficina Nacional de Meteorología (ONM) de Argelia y AEMET. En septiembre de 2006 se instaló la estación Cimel-AERONET de AERONET en Tamanrasset (fig. 20.1).



Figura 19.1. El Cimel de AERONET en Tamanrasset sobre la terraza del Centro Meteorológico Regional.

Esta estación cuenta ahora con una serie temporal relativamente larga de datos de AERONET (fig.19.2), a pesar de las enormes dificultades del entorno y logísticas para mantenerla en funcionamiento, en buena parte gracias al esfuerzo y a la gran colaboración del equipo humano a cargo de la estación VAG de Tamanrasset-Assekrem.

La estación VAG de Tamanrasset se encuentra en el sur de Argelia, en el corazón del Sahara, y proporciona datos únicos y valiosos en una región con una superficie mayor que Europa, cerca de importantes fuentes de polvo. Esta estación es el único emplazamiento de observación permanente de AERONET situado

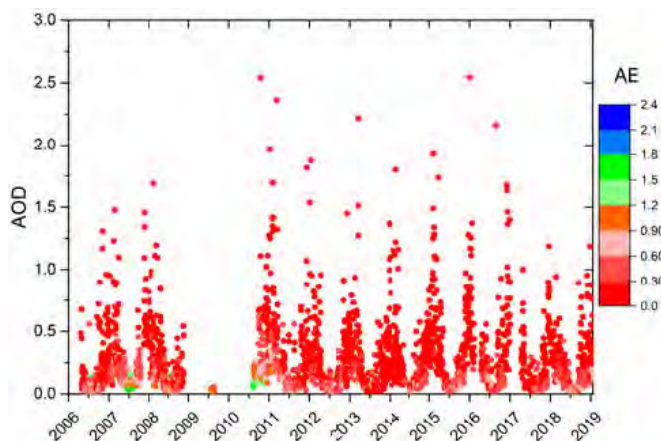


Figura 19.2. La serie de datos de AOD de la estación de AERONET en Tamanrasset (2006-2018).

en el corazón de la región sahariana (fig. 19.3a) y tiene un valor estratégico no solo para la caracterización de la composición atmosférica sobre el desierto del Sahara en el marco del programa de la VAG, sino también para evaluar los modelos atmosféricos y para validar los datos de satélite.

De hecho, se trata de una estación fundamental para evaluar el rendimiento de los modelos de predicción del polvo mineral en una región compleja donde hay numerosas fuentes de polvo cercanas. La comunidad científica utiliza regularmente los datos de Tamanrasset en diversos estudios (por ejemplo, Xu *et al.*, 2018).

Tamanrasset es una estación singular de especial atención para el Centro Regional del Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena (por ejemplo, Terradellas *et al.*, 2016) (más detalles en la sección 18). Este fotómetro de AERONET es calibrado por el CIAI aproximadamente una vez al año. Los detalles de este programa se proporcionan en Guirado *et al.* (2014).

En la figura 19.3b se muestra una comparación automática de 12 predicciones de modelos de espesor óptico del polvo (DOD) a 550 nm frente a los datos del AOD de AERONET para el mes de julio de 2018 en Tamanrasset. Esta comparación está disponible en el sitio web del SDS-WAS.

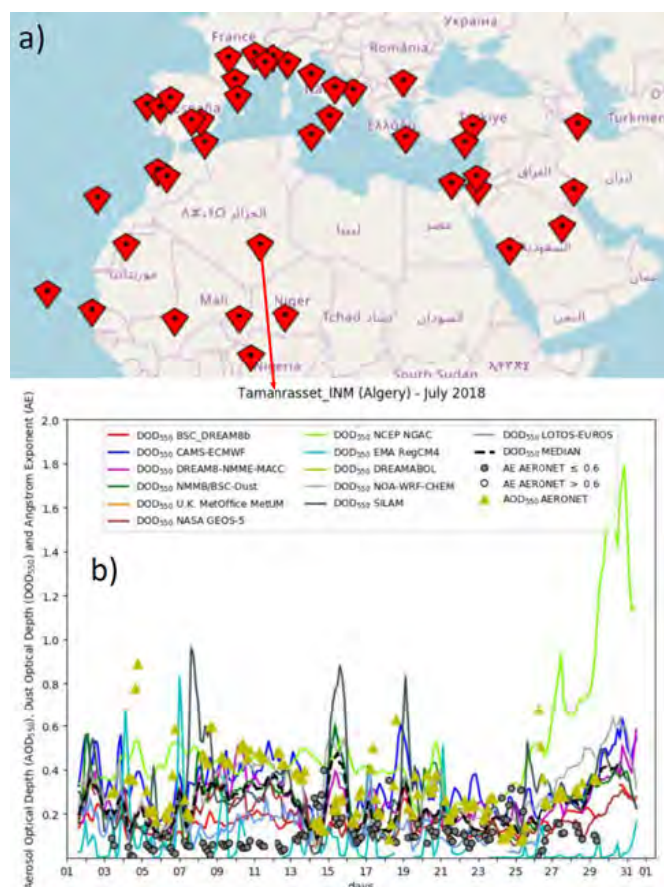
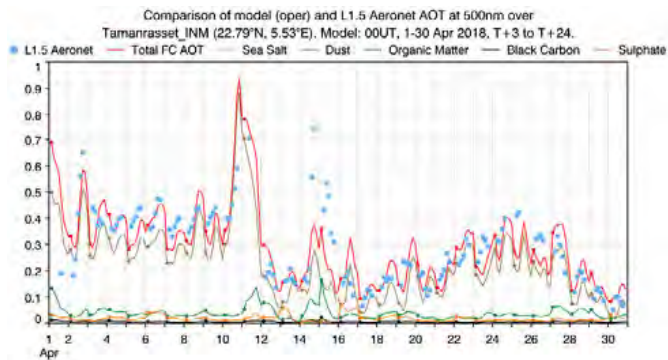


Figura 19.3. a) Mapa de las estaciones de AERONET en el norte de África utilizadas por el Centro Regional del Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena y b) comparación del AOD de polvo de AERONET con 12 modelos de polvo, el espesor óptico del polvo (DOD) y la mediana de los modelos para Tamanrasset en julio de 2018.



**Figura 19.4. Comparación de las salidas de los modelos operativos de aerosoles de CAMS-Copernicus con los datos de AOD del nivel 1.5 de AERONET para el emplazamiento de Tamarrasset durante abril de 2018.**

Tamarrasset también es una estación clave para evaluar los servicios mundiales de predicción operativa, como el CAMS de Copernicus, en condiciones de polvo casi puro. En la figura 19.4 se muestra una comparación automática de las salidas de CAMS-Copernicus para varios tipos de aerosoles con los datos de AOD del nivel 1.5 de la estación de AERONET en Tamarrasset para el mes de abril de 2018. La concordancia para el polvo y los aerosoles totales es bastante bueno.

El hermanamiento se completó con la instalación del doble espectrofotómetro Brewer #201 (MARK-III) en Tamarrasset, en octubre de 2011 (fig. 19.5), gracias al proyecto titulado “Vigilancia de la atmósfera global en la región del Magreb-Sahara” (VAG-Sahara) financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

En Tamarrasset se ha puesto en funcionamiento un espectrofotómetro Dobson (#11; código de estación de la OMM número 002) desde abril de 1994. Esta estación es ahora uno de los pocos lugares del mundo donde podría realizarse de forma rutinaria la intercomparación permanente y a largo plazo entre los Dobson, los Brewer y los actuales y futuros sensores de satélite. Esta iniciativa ha sido fuertemente recomendada por el



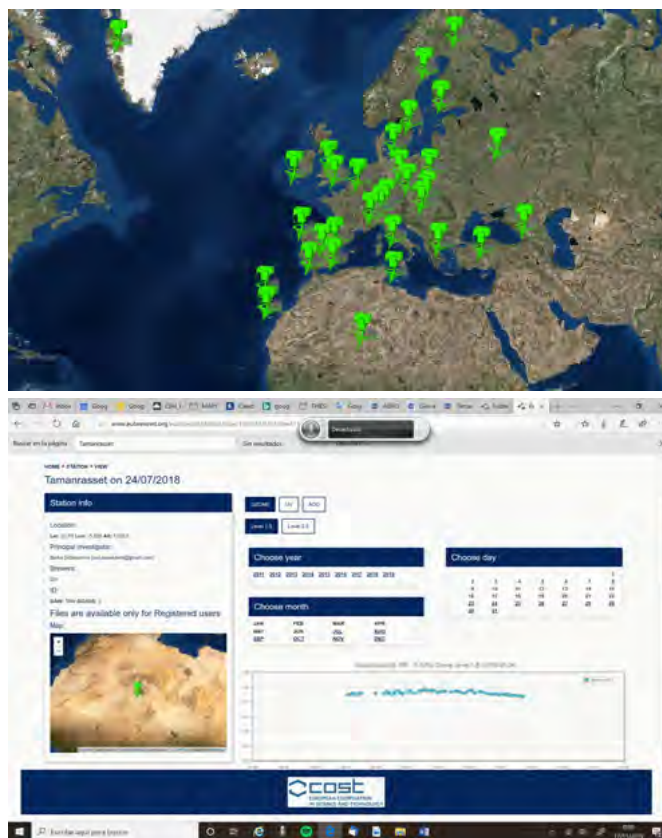
**Figura 19.5. El Brewer #201 de Tamarrasset sobre la terraza del Centro Meteorológico Regional.**

Grupo consultivo científico sobre el Ozono de la OMM y representa una contribución única a la garantía de calidad total de la red mundial del ozono. Además, el instrumento Brewer proporciona datos de radiación ultravioleta espectral.

Tamarrasset, con el espectrofotómetro Brewer #201, juega un papel importante en el contexto de otras redes de observación global, por ejemplo en la red EUBREWNET (fig. 19.6) (más detalles en la sección 6.3.1) proporcionando datos en tiempo casi real de la columna de ozono, la radiación espectral y el AOD en el rango UV (López-Solano *et al.*, 2018). Este equipo es calibrado periódicamente por el Centro Regional de Calibración Brewer para Europa, que alberga el CIAI, aprovechando las intercomparaciones bianuales que se realizan en la estación del INTA en El Arenosillo (Huelva, sur de España).

En la estación VAG de alta montaña de Assekrem (2730 m s.n.m.), a 80 km al norte de Tamarrasset, ha estado funcionando, desde octubre de 2011, un radiómetro de filtros múltiples del Instituto Noruego de Investigación del Aire (NILU) (fig. 19.7). La estación de alta montaña de Assekrem también se encuentra en una instalación de la ONM gestionada por el Centro Meteorológico de la Región Sur de Argelia.

El radiómetro de filtros múltiples NILU de la estación de Assekrem proporciona datos de radiación UV, radiación fotosintéticamente activa (PAR) y columna total de ozono en un lugar situado a gran altitud en el medio del Sahara.



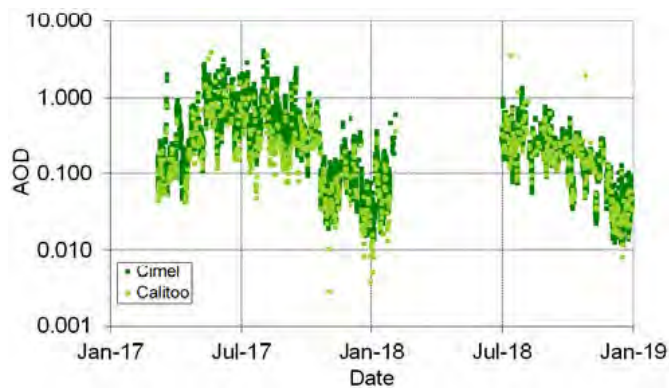
**Figura 19.6. En la imagen superior, el espectrofotómetro Brewer de Tamarrasset como parte de la red EUBREWNET. En la imagen inferior, ejemplo de visualización de datos de ozono total del 24 de julio de 2018.**





**Figura 19.7. El radiómetro NILU-UV6 en Assekrem. Al fondo, montañas del macizo de Hoggar.**

Desde marzo de 2017, ha estado funcionando en Tamanrasset un fotómetro solar portátil Calitoo. Durante este tiempo, el rendimiento del Calitoo bajo las difíciles condiciones de una zona desértica ha sido probado con muy buenos resultados (figura 19.8). En el futuro, el objetivo es tomar medidas con el Calitoo en la estación VAG de alta montaña de Assekrem. Como resultado de ello, podrían recuperarse las propiedades de los aerosoles de la columna total a diferentes altitudes en pleno corazón del desierto del Sahara (en Tamanrasset con el fotómetro solar Cimel y en Assekrem con el Calitoo).



**Figura 19.8. AOD de AERONET calculado a 500 nm con el fotómetro solar Cimel frente al AOD calculado a 540 nm con el fotómetro solar portátil Calitoo en Tamanrasset. La laguna en los datos se debe al reemplazo del Calitoo por otro recién calibrado tras un año de funcionamiento.**

## 19.1 Referencias

- Guirado, C., Cuevas, E., Cachorro, V. E., Toledano, C., Alonso-Pérez, S., Bustos, J. J., Basart, S., Romero, P. M., Camino, C., Mimouni, M., Zeudmi, L., Goloub, P., Baldasano, J. M. and de Frutos, A. M.: Aerosol characterization at the Saharan AERONET site Tamanrasset, *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 11753-11773, doi:10.5194/acp-14-11753-2014, 2014.
- López-Solano, J., Redondas, A., Carlund, T., Rodríguez-Franco, J. J., Diémoz, H., León-Luis, S. F., Hernández-Cruz, B., Guirado-Fuentes, C., Kouremeti, N., Gröbner, J., Kazadzis, S., Carreño, V., Berjón, A., Santana-Díaz, D., Rodríguez-Valido, M., De Bock, V., Moreta, J. R., Rimmer, J., Smedley, A. R. D., Boulkelia, L., Jepsen, N., Eriksen, P., Bais, A. F., Shiroto, V., Vilaplana, J. M., Wilson, K. M. and Karppinen, T.: Aerosol optical depth in the European Brewer Network, *Atmos. Chem. Phys.*, <https://doi.org/10.5194/acp-18-3885-2018>, 18, 3885-3902, 2018.
- Terradellas, E., S. Basart and E. Cuevas: 2013-2015 Activity Report of the SDS-WAS Regional Center for Northern Africa, Middle East and Europe, Joint publication of AEMET and WMO; NIPO: 281-16-007-3; WMO/GAW Report No. 230; WMO/WWRP No. 2016-2, 2016.
- Xu, Y.: Evaluation of mineral dust aerosol optical depth and related components from the CHIMERE-DUST model using satellite remote sensing and ground-based observations, *Atmospheric Environment*, 191, 395-413, 2018.

## 19.2 Personal

- Dr. Emilio Cuevas (AEMET, IP del programa de hermanamiento entre Tamanrasset e Izaña);
- Alberto Redondas (AEMET, IP del programa de ozono y radiación UV);
- Ramón Ramos (AEMET, logística e instrumentación);
- Dra. Carmen Guirado Fuentes (UVA/AEMET) dejó el CIAI en septiembre de 2019;
- Virgilio Carreño (AEMET; observador meteorológico y técnico de la VAG).
- Contribuidores locales:
- Sidi Baika (jefe de la estación VAG de Tamanrasset-Assekrem);
- L. Zeudmi-Sahraoui y M. Zoukani (técnicos).



## 20 Banco de pruebas de la CIMO/OMM para instrumentos de teledetección de aerosoles y vapor de agua

La Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación (CIMO) tiene la misión de promover y facilitar la normalización y compatibilidad internacionales de los instrumentos y métodos de observación utilizados por los Miembros, en particular en el seno del Sistema Mundial de Observación de la OMM, para mejorar la calidad de los productos y servicios prestados a los Miembros, o por ellos, y para cumplir con sus necesidades (véanse Informe del Presidente al Cg-XV (2007), Informe del Presidente al Cg-XVI (2011) e Informe del Presidente al Cg-XVII (2015)).

La XV reunión de la CIMO (2010) decidió crear bancos de pruebas y centros principales de la CIMO para promover la colaboración entre esa Comisión y los SMHN pertinentes en las pruebas, el desarrollo y la normalización de instrumentos meteorológicos así como en la evaluación del rendimiento de los sistemas. Estas nuevas infraestructuras utilizarían y se desarrollarían a partir de las instalaciones existentes de última generación, y se aprovecharían de la experiencia específica disponible en los SMHN, con el fin de ofrecer orientación a todos los Miembros de la OMM.

La decimosexta reunión de la CIMO designó al Observatorio Atmosférico de Izaña como banco de pruebas de la CIMO de la OMM para instrumentos de teledetección de aerosoles y vapor de agua. La CIMO tiene como objetivo promover el avance de los sistemas de observación de los Estados Miembros de la OMM a través de su Sistema Mundial Integrado de Sistemas de Observación de la OMM (WIGOS). Cabe esperar asimismo que los centros que se constituyan como bancos de pruebas puedan jugar un papel decisivo en el esfuerzo de la OMM por reducir las brechas entre países, favoreciendo la realización de las actividades de formación y de creación de capacidad a través de colaboraciones específicas con estaciones y observatorios en países en desarrollo. En los Términos de Referencia de los bancos de pruebas de la CIMO se pueden encontrar las atribuciones generales de los mismos para las observaciones terrestres por teledetección e *in situ*.

Desde mediados de octubre de 2017, la instalación del banco de pruebas de Izaña amplió la plataforma de calibración de fotómetros. La capacidad de calibrar simultáneamente instrumentos maestros y de campo se ha ampliado de 8 a 20 unidades. La nueva instalación ha requerido dos nuevas mesas de aluminio pesadas, estables y rotuladas, cinco nuevas protecciones de acero inoxidable y se han realizado trabajos de recableado.

### 20.1 Principales objetivos y actividades del banco de pruebas de Izaña

Las principales actividades que lleva a cabo actualmente el banco de pruebas del Observatorio Atmosférico de Izaña están relacionadas con la validación de instrumentos, el desarrollo de nuevas metodologías y los dispositivos para la observación de aerosoles.

## 20.2 Productos obtenidos en el Observatorio Atmosférico de Izaña a partir de las mediciones de irradiancia directa espectral con el EKO

El Observatorio de Izaña adquirió en 2016 un espectrorradiómetro EKO MS-711, que comenzó a medir de manera continua en marzo de 2017. Este instrumento está diseñado para medir el espectro solar global, aunque EKO Instruments diseñó un tubo colimador que permite realizar mediciones de la irradiancia normal directa (DNI) (más información en el apartado 10.2). A partir de las mediciones de la DNI se han obtenido valores de AOD, vapor de agua y radiación directa entre marzo de 2017 y diciembre de 2018.

### 20.2.1 AOD

El AOD espectral se obtuvo a partir de la DNI medida a nivel de superficie, utilizando la ley de Beer-Lambert-Bouguer:

$$AOD = \frac{1}{m_a} [\ln DNI_o(\lambda) - \ln DNI(\lambda) - \tau_R m_R - \tau_{gas} m]$$

donde:  $DNI_o(\lambda)$  es la irradiancia en la longitud de onda  $\lambda$ , en la parte superior de la atmósfera corregida por la distancia Sol-Tierra, determinada utilizando el método Langley (Shaw *et al.*, 1973);  $DNI(\lambda)$  es la irradiancia solar directa en la longitud de onda  $\lambda$  medida por el instrumento;  $\tau_R$  es el espesor óptico de Rayleigh debido a la dispersión molecular;  $m_R$  es la masa de aire de Rayleigh;  $\tau_{gas}$  es la absorción por los gases atmosféricos en las longitudes de onda afectadas ( $O_3$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$ , etc.) y  $m$  es la masa de aire de los diferentes gases.

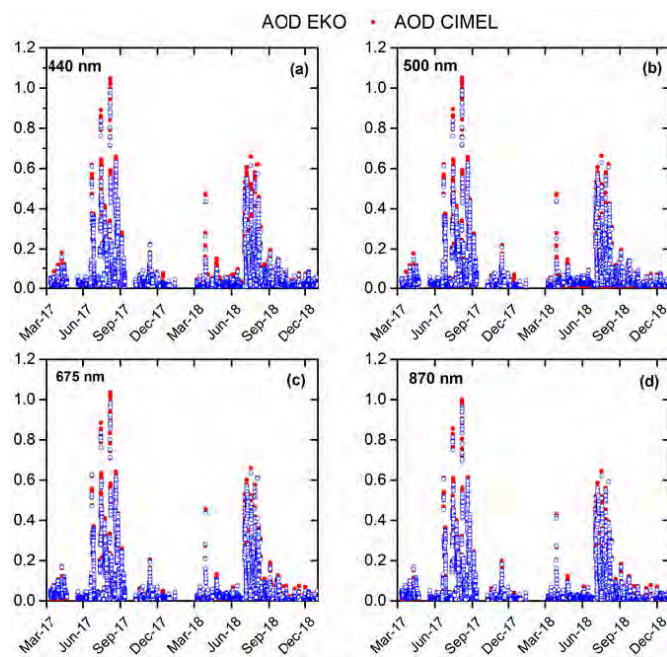


Figura 20.1. Serie temporal de AOD estimada a partir de las mediciones del EKO MS-711 (puntos azules) y del AOD realizadas con Cimel (puntos rojos) a) 440, b) 500, c) 675 y d) 870 nm en el Observatorio de Izaña entre marzo de 2017 y diciembre de 2018 (N = 10923 datos).

Se ha determinado el AOD con el EKO a las mismas longitudes de onda que las medidas por el Cimel (440, 500, 675 y 870 nm) siguiendo la metodología utilizada por AERONET (Holben *et al.*, 2001). En general, los resultados ponen de manifiesto que existe una buena concordancia entre los AOD estimados con el Cimel y con el EKO, con el error cuadrático medio (RMSE) < 0,01 y el coeficiente de Pearson > 0,991 para todas las longitudes de onda. Estos valores se encuentran dentro del rango de incertidumbre instrumental del Cimel ( $\pm 0,01$  para los instrumentos maestros y  $\pm 0,02$  para los de campo bajo condiciones de cielo despejado) (Eck *et al.*, 1999) (fig. 21.1).

## 20.2.2 Vapor de agua

En el espectro del infrarrojo cercano, en torno a 940 nm, hay muchas bandas de absorción del PWV. La transmitancia del PWV ( $T_w$ ) se puede expresar de la siguiente manera teniendo en cuenta la ley de Beer-Lambert:

$$DNI(\lambda) = DNI_o(\lambda) e^{-\tau(\lambda)m} T_w$$

donde  $T_w$  viene dada por:

$$T_w = DNI(\lambda) e^{[m_R \tau_R + m_a \tau_a]}$$

donde  $\tau_a$  es el espesor óptico de los aerosoles y  $m_a$  es la masa óptica relativa del aerosol. Para convertir  $T_w$  en PWV se utiliza la siguiente expresión de tres parámetros deducida en Ingold *et al.* (2000):

$$T_w = c e^{-ax^b}$$

Donde:

$$x = \frac{um_w}{u_0}$$

con  $u_0 = 10 \text{ km}^{-2}$ ,  $u$  es el PWV y  $m_w$  es la masa del vapor de agua en el aire;  $a$ ,  $b$  y  $c$  son constantes que se determinan ajustando las transmitancias ponderadas del vapor de agua simuladas por un modelo de transferencia radiativa. Finalmente, el PWV se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$PWV = \frac{1}{m_w} \left[ \frac{\ln(T_w/c)}{-a} \right]^{(1/b)}$$

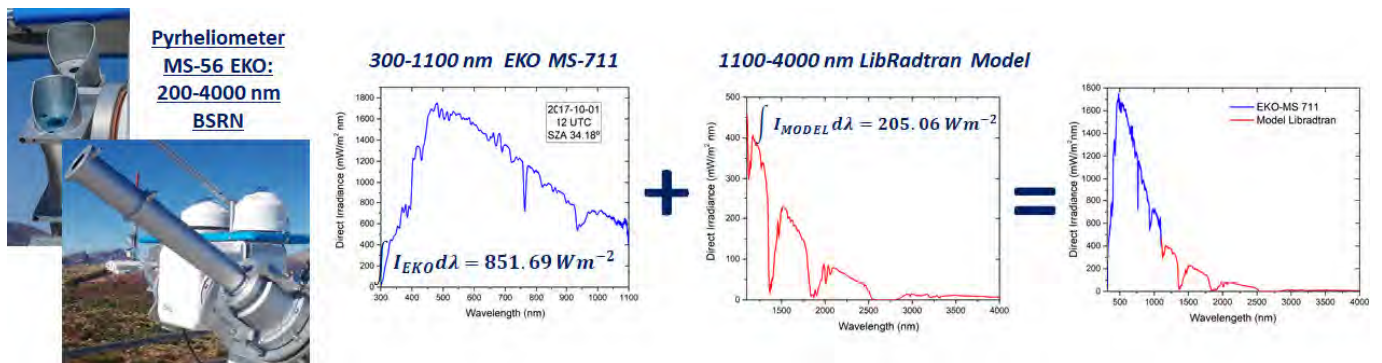


Figura 20.3. Radiación directa determinada a partir de la irradiancia normal directa obtenida por el EKO MS-711 en el Observatorio de Izaña el 1 de octubre de 2017 a las 1200 UTC (SAZ 34,18°).

Para validar los resultados, se ha comparado el PWV determinado con el EKO con los obtenidos utilizando radiosonda (RS92), FTIR, GPS y Cimel (fig. 21.2). En general, los resultados ponen de manifiesto que existe una buena concordancia entre el PWV del EKO y los PWV de RS92, FTIR y GPS con sesgos medios de 0,44 (8,4%), -0,32 (-6,3%) y 0,45 mm (8,9%) respectivamente. Se obtiene una menor concordancia cuando se compara con el PWV obtenido por el Cimel (fig. 21.2d), con un sesgo medio de 1,37 mm (33,8%).

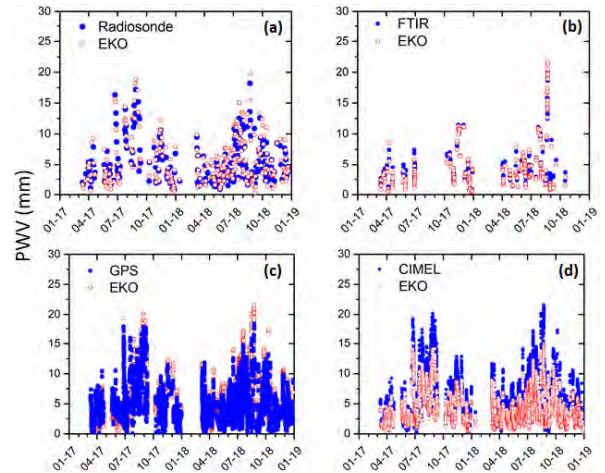


Figura 20.2. Serie temporal de PWV estimada a partir de las mediciones del EKO MS-711 (puntos rojos) y del PWV realizadas con diferentes técnicas (puntos azules): a) radiosonda (RS92) (datos N: 292), b) FTIR (datos N: 333), c) GPS (datos N: 6679) y d) Cimel (datos N: 10 146) en el IZO entre marzo de 2017 y diciembre de 2018.

## 20.2.3 Radiación directa

A partir de la DNI medida con el EKO MS-711, se ha determinado la radiación directa total y se ha comparado con la radiación directa medida con el pirheliómetro MS-56 de la red BSRN (sección 10.1). Se han ampliado las medidas de DNI a 1100 y 4000 nm con el modelo LibRadtran para facilitar la comparación en el rango de longitud de onda de ambos instrumentos (fig. 21.3) (García *et al.*, 2014). Entre la radiación directa estimada por el EKO MS-711 y la generada con el pirheliómetro MS-56 se ha encontrado una buena concordancia, con un coeficiente de Pearson de 0,998 y una pendiente de 1,006 para 214 días despejados entre marzo de 2017 y diciembre de 2018.





Figura 20.4. Vista de los instrumentos de radiación y aerosoles en la terraza de instrumentos del IZO (foto: C. Bayo).

### 20.3 Serie temporal de AOD (1941-2017) en el Observatorio de Izaña

En el Observatorio Atmosférico de Izaña se ha reconstruido una serie temporal de 77 años de AOD a 500 nm: por medio de la utilización de redes neuronales artificiales (ANN) desde 1941 hasta 2001, y a través de medidas de AOD con el fotómetro Cimel de la red AERONET entre 2003 y 2017.

El método basado en ANN ha demostrado ser una herramienta muy útil para reconstruir los valores diarios de AOD a 500 nm a partir de datos de parámetros meteorológicos registrados en el IZO, como la visibilidad horizontal, la fracción de cielo despejado y la humedad relativa. Esta metodología podría extrapolarse a otros lugares, sobre todo aquellos que se ven afectados por altas cargas de polvo. Más detalles en la sección 9.3.2 y en García *et al.* (2016; 2018).

### 20.4 Fotometría lunar

El grupo de investigación sobre fotómetros lunares, creado en 2011 entre Cimel Electronique y el CIAI, está centrado en el diseño y la implementación de nuevas estrategias para abordar los problemas derivados de la monitorización de los aerosoles atmosféricos y el contenido de vapor de agua por la noche. Los obstáculos más importantes que se deben superar son la baja energía entrante de la Luna, la variación de la iluminación de la Luna inherente a su ciclo lunar y las propiedades de la reflectancia no lambertiana de este cuerpo celeste.

En este sentido, ha surgido el método Langley lunar (descrito en Barreto *et al.*, 2013a) como una herramienta útil para realizar una calibración precisa de los fotómetros lunares, y se ha desarrollado el prototipo CE318-U como instrumento capaz de obtener el espesor óptico de los aerosoles (AOD) y el vapor de agua precipitable (PWV) con una exactitud similar a la de las mediciones diurnas. Otros esfuerzos llevaron al desarrollo del primer fotómetro solar, celeste y lunar (con nombre comercial CE318-T) en 2014. Este nuevo instrumento es capaz de realizar mediciones fotométricas diurnas y nocturnas utilizando como fuente de luz tanto el Sol como la Luna, lo que permite extraer un ciclo diurno completo de propiedades de aerosoles y de contenido de vapor de agua, valioso para mejorar la monitorización de la atmósfera.

Las observaciones del CE318-T del CIAI se iniciaron en 2014, con tres prototipos instalados en el IZO: un instrumento de referencia y dos secundarios. La referencia, designada como CE318-T maestra, funciona actualmente como maestra en el IZO. Los dos CE318-T secundarios se utilizaron para desarrollar y verificar nuevos procedimientos para transferir la técnica Langley de calibración lunar absoluta a los instrumentos de campo. La información extraída de estos tres años de observaciones con el CE318-T ha permitido evaluar exhaustivamente el rendimiento de este instrumento y, además, ha servido para identificar otras fuentes de problemas relacionados con la fotometría lunar.

Fruto de este análisis, el equipo de AERONET aceptó esta nueva versión de Cimel (en adelante en AERONET), una vez asegurada la homogeneidad de la red, sugiriendo la sustitución de los instrumentos CE318-N por el nuevo CE318-T en la medida de lo posible (véase la noticia publicada el 2 de octubre de 2016, en la página web de AERONET).

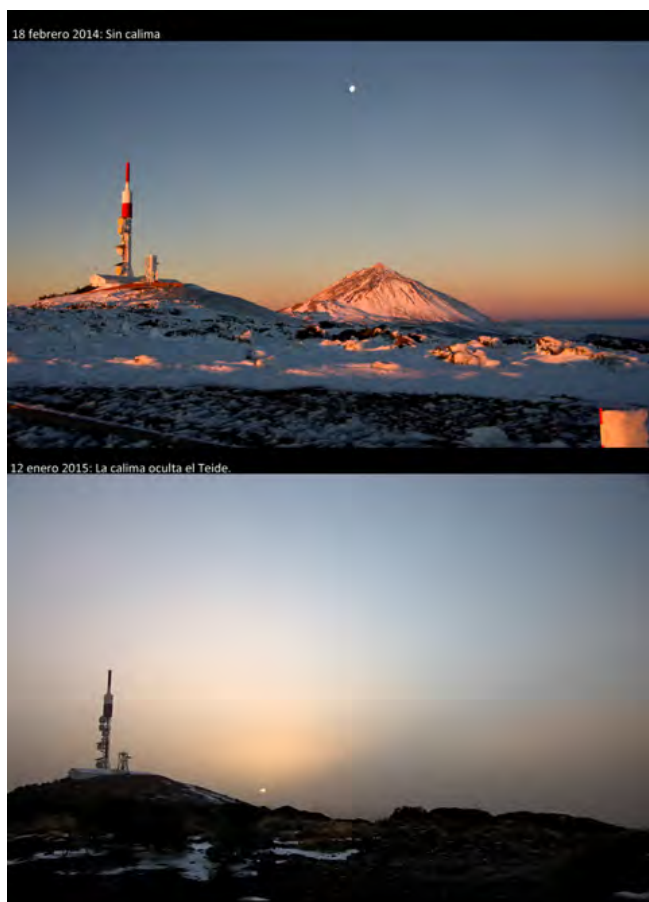


Figura 20.5. Unas condiciones atmosféricas tan diferentes que abarcan una amplia gama de cargas de aerosoles hacen del Observatorio Atmosférico de Izaña un emplazamiento singular para probar y calibrar instrumentos de teledetección de aerosoles: condiciones prístinas (imagen superior) y carga de polvo significativa (imagen inferior) (cortesía de S. Rodríguez).



### 20.4.1 Evaluación del espesor óptico nocturno de los aerosoles utilizando la fotometría lunar

La fotometría lunar ha surgido como una herramienta útil para llevar a cabo la vigilancia diurna y continua de aerosoles, especialmente en latitudes altas. En fotometría lunar se necesita contar con un modelo preciso de la irradiancia de la Luna para tener en cuenta el cambio continuo del brillo lunar durante cada ciclo. El modelo del Observatorio lunar robotizado (ROLO), publicado por Kieffer y Stone (2005), está considerado como una herramienta esencial para la fotometría lunar. Sin embargo, hay muy pocos estudios en la literatura científica que se centren en la aplicación de este modelo a los datos nocturnos o que estudien la contribución del modelo a la incertidumbre del espesor óptico de los aerosoles (AOD).

Barreto *et al.* (2017) realizaron un primer análisis de los errores sistemáticos observados en el AOD recuperado durante la noche utilizando fotometría lunar y técnicas de calibración dependientes del modelo de irradiancia lunar. En este sentido, este trabajo supone un primer intento de corregir estas incertidumbres en el AOD a través de un modelo de regresión empírico. Para ello, en 2014 se realizaron mediciones de AOD nocturnas utilizando el fotómetro de referencia solar, de cielo y lunar CE318-T (calibrado con el método Langley lunar) en el observatorio de alta montaña de Izaña. Esta información se ha restringido a 59 noches caracterizadas como limpias y estables según los perfiles de retrodispersión vertical determinados con el lidar MPL-3, instalado en el Observatorio de Santa Cruz.

Para este periodo de 59 noches, comparando la calibración con el CE318-T efectuada por medio del método Langley lunar, con

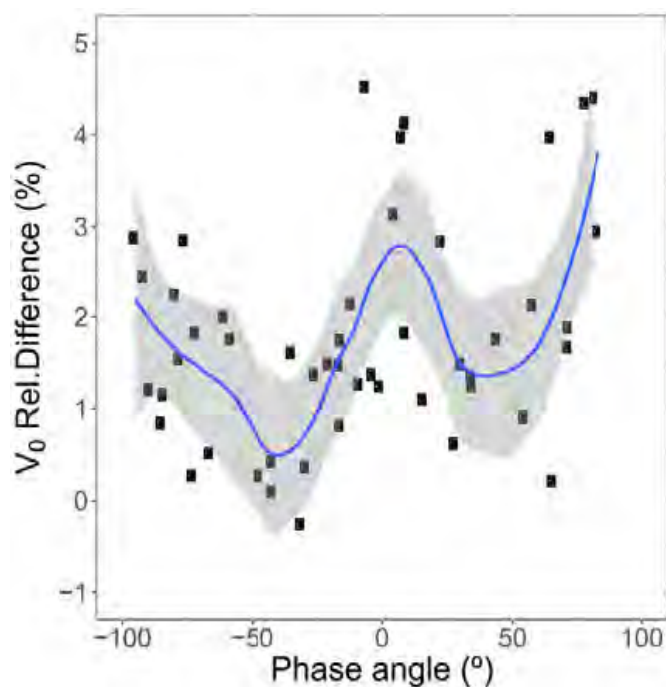


Figura 20.6. Diferencia relativa porcentual de los coeficientes de calibración ( $V_0$ ) a 870 nm cuando se comparan las técnicas de calibración absoluta Langley y Langley lunar. En línea continua se muestra el suavizado mediante LOESS (suavizado por diagrama de dispersión estimado localmente). Las áreas sombreadas representan el intervalo de confianza del 95%.

la calibración realizada cada noche mediante la técnica común Langley podría deducirse una dependencia del ángulo de fase, así como una asimetría dentro del ciclo lunar del modelo ROLO (fig. 20.6).

Una vez que se verificó la existencia de un sesgo en el modelo de irradiancia lunar (que introduce la calibración y las incertidumbres en el AOD dependientes del ángulo de fase de la Luna), los citados autores propusieron un método de corrección empírico para la recuperación del AOD durante la noche. Para ello, también se ha comparado el AOD nocturno en el mismo periodo con un AOD de referencia basado en el AOD diurno extraído de la red AERONET en la misma estación. Considerando condiciones estables, se ha calculado la diferencia entre el AOD determinado por las observaciones lunares y el AOD interpolado linealmente (la referencia) a partir de los datos de la luz del día ( $\Delta AOD_{fit}$ ).

Los resultados ponen de manifiesto que los valores de  $\Delta AOD_{fit}$  se ven afectados en gran medida por la fase lunar y los ángulos cenitales. Esta dependencia se ha parametrizado mediante un modelo empírico con dos variables independientes (la fase lunar y los ángulos cenitales) con el fin de corregir el AOD para estas dependencias residuales. La corrección de esta dependencia parametrizada se ha comprobado en cuatro estaciones con condiciones ambientales bastante diferentes (Izaña, Lille, Carpentras y Dakar) mostrando una reducción significativa de la dependencia del AOD con los ángulos de fase y cenital, y una mejor concordancia con los datos de referencia diurnos. En la fig. 21.7 se muestra un ejemplo del impacto de esta corrección empírica en los datos nocturnos, donde los autores presentan la evolución del AOD en un ciclo lunar en Izaña en junio de 2014, antes y después de la corrección del AOD.

Barreto *et al.* (2017) concluyeron que en los cuatro emplazamientos estudiados las diferencias absolutas de AOD para las transiciones limpias y estables día-noche-día después de esta corrección empírica permanecen por debajo de 0,01 para todas las longitudes de onda.

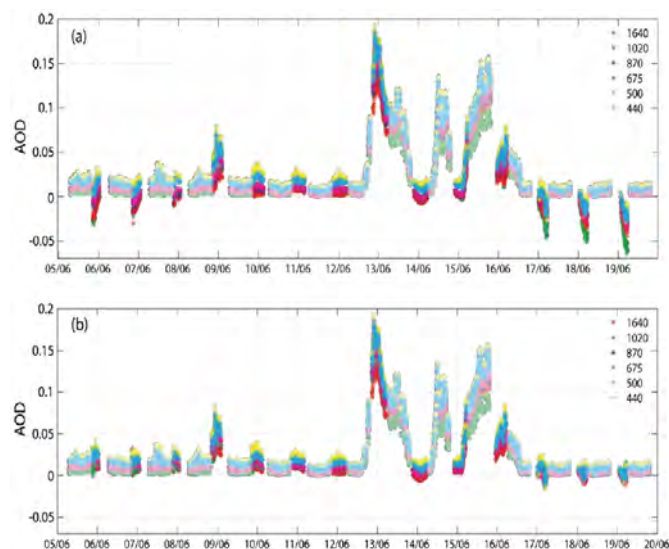


Figura 20.7. Evolución del AOD en un ciclo lunar (junio de 2014) en Izaña. Los colores opacos indican datos diurnos. Se representa el AOD nocturno a) antes y b) después de la corrección.

## 20.4.2 Campaña y congreso sobre fotometría lunar celebrados en Izaña en 2017

Del 1 al 17 de junio de 2017, se realizó una campaña de fotometría lunar en el Observatorio Atmosférico de Izaña. Además, los días 7 y 8 de junio de 2017, se llevó a cabo en el IZO un congreso sobre el mismo tema. Estas actividades fueron organizadas conjuntamente por el Centro de Investigación Atmosférica de Izaña y el Grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid en el marco del banco de pruebas de la CIMO/OMM para instrumentos de teledetección de aerosoles y vapor de agua.

La importancia del efecto de los aerosoles atmosféricos sobre el clima es conocida por la comunidad científica desde hace varias décadas. Sin embargo, la principal metodología utilizada en la superficie terrestre para caracterizar el aerosol atmosférico —la fotometría solar— no es capaz de proporcionar información por la noche o durante largos periodos en áreas polares ni en estaciones de latitudes altas. Esta falta de información reduce la capacidad de los científicos para estudiar la dinámica diurna y la evolución de los aerosoles atmosféricos así como otras características atmosféricas propias de las altas latitudes, como la calima ártica. La incorporación de datos nocturnos a las actuales redes terrestres de vigilancia de los aerosoles aportaría información importante a los correspondientes modelos de transporte, ya sea mediante estudios de asimilación o de validación, además de la validación de los productos de satélite.

El objetivo de esta campaña fue el de intercomparar los instrumentos y procedimientos que se utilizan actualmente para determinar el espesor óptico de los aerosoles por la noche. Esta campaña contó con la participación de varios grupos: el CIAI, el GOA-UVA, Photons (Universidad de Lille, Francia), el Centro Radiométrico Mundial (PMOD/CRM) de Davos (Suiza), el Instituto de Ciencias Atmosféricas y Clima de Italia, la empresa francesa Cimel electronique (fabricante de los fotómetros CE318T utilizados en la red de AERONET), la empresa Sieltec Canarias (fabricante de la cámara de todo cielo SONA), el Servicio Meteorológico Nacional de Alemania, el Grupo de Física



**Figura 20.8.** Instrumentos que toman medidas nocturnas durante la campaña de campo de 2017 de fotometría lunar (a la izquierda, el Cimel CE318-T; y a la derecha, el fotómetro estelar).



**Figura 20.9.** Participantes del congreso de fotometría lunar celebrado en Izaña los días 7 y 8 de julio de 2017.

Atmosférica de la Universidad de Granada y el Instituto de Astrofísica de Canarias. Los dos últimos grupos participaron con instrumentos que utilizan estrellas en lugar de la Luna para determinar el espesor óptico de los aerosoles. El CIAI también tiene un lidar micropulsado que puede proporcionar información sobre aerosoles por la noche.

Durante el congreso se discutieron las metodologías más adecuadas para obtener unos resultados óptimos con los fotómetros lunares. Este encuentro facilitó el intercambio de ideas y experiencias entre los participantes con el fin de promover la investigación en este campo. En el taller también participaron grupos del Servicio Geológico de los Estados Unidos, el grupo de AERONET de la NASA, la Universidad de Sherbrooke de Canadá, el Instituto de Física de la Academia Checa de Ciencias y el Instituto Meteorológico Finlandés.

## 20.4.3 Proyecto de la ESA sobre medición y modelización de la irradiancia espectral lunar para realizar la calibración absoluta de los sensores ópticos en órbita sobre la Tierra

Se ha descubierto que el modelo ROLO es el modelo de irradiancia lunar extraterrestre más fiable hasta ahora. Sin embargo, algunos ejercicios de comparación han puesto de manifiesto que ese modelo tiene una incertidumbre en la escala absoluta del 5 al 10 %, lo que podría estar relacionado con la calibración absoluta del modelo obtenida a partir de las observaciones de la estrella Vega. Existe otra posible fuente de errores relacionados con la corrección de la extinción atmosférica. El diferente ángulo cenital de la Luna y de Vega durante este método de calibración estelar conduce a espectros de reflectancia lunar que presentan desviaciones inesperadas banda a banda, lo que introduce un sesgo espectral en términos absolutos.

Esta incertidumbre en el modelo aparece como un error sistemático (sesgo) pero se plantea la hipótesis de que también exista una dependencia del ángulo de fase para la calibración ROLO (hasta un 6% según Vitticchie *et al.* (2013) al comparar las irradiancias lunares de ROLO y SEVERI). Otros autores descubrieron una dependencia similar con el ángulo de fase (Vitticchie, 2013; Lacherade, 2014; Barreto *et al.*, 2016). No es





**Figura 20.10.** Los participantes del proyecto de la ESA en una reunión celebrada en Tenerife, en marzo de 2018.

concluyente acerca de si el error sistemático fue el resultado de la calibración instrumental de los instrumentos involucrados en tales comparaciones o de errores con el propio modelo ROLO.

La conclusión de todos estos trabajos anteriores es que la incertidumbre absoluta de la irradiancia espectral proporcionada por el modelo ROLO es del orden del 5-10 %, siendo la incertidumbre relativa del orden de un 1 %. El objetivo a largo plazo será el de proporcionar un modelo de irradiancia lunar absoluto que sea trazable al Sistema Internacional (SI).

Debido a la excelente estabilidad fotométrica de la superficie lunar, cualquier modelo que proporcione una irradiancia absoluta de la Luna, teniendo en cuenta la fase y la libración, podría utilizarse para recalibrar y reanalizar los datos históricos de cualquier satélite que obtuviera imágenes de forma rutinaria de la Luna. Esto daría lugar a un grado mucho mayor de exactitud del registro climático histórico y reduciría la incertidumbre de las predicciones climáticas. Esta es la principal razón de ser del proyecto de la ESA lanzado en 2017.

El objetivo de este proyecto es utilizar mediciones en tierra tomadas con un fotómetro Cimel CE318-TP, capaz de realizar medidas solares, lunares y de cielo para mejorar la modelización de las variaciones de la irradiancia del disco lunar a través de sus ciclos (hasta < 2 % de incertidumbre), incluidas las mediciones de polarización. Este proyecto incluye mediciones nocturnas en las estaciones de alta montaña del IZO y el TPO (2373 y 3555 m s.n.m., respectivamente), la calibración precisa en un Instituto Nacional de Metrología (NPL, Londres) y la corrección de alta calidad de los efectos atmosféricos para obtener la irradiancia lunar extraterrestre. Este proyecto se encuentra actualmente en curso y se prevé que continúe durante al menos 4 años más (hasta 2023) para tener en cuenta el ciclo lunar de la fase y de la libración.

Este proyecto fue asignado a un consorcio de tres miembros: Universidad de Valladolid/Centro de Investigación Atmosférica de Izaña, Laboratorio Nacional de Física (NPL, Londres) e Instituto Flamenco de Investigaciones Tecnológicas (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek, Bélgica).

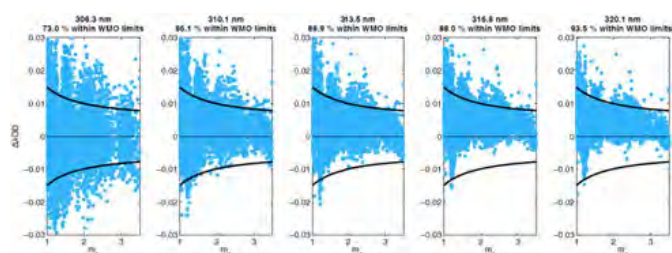
## 20.5 Diseño, desarrollo y prueba del nuevo radiómetro cenital de banda múltiple estrecha, bajo coste y robusto, para recuperación de AOD y vapor de agua

Se ha desarrollado y aplicado una metodología —basada en un algoritmo de tabla de consulta (*look-up table* o LUT) para la estimación del AOD a partir de la radiancia cenital celeste— a los fotómetros solares Cimel de la red AERONET de Santa Cruz de Tenerife, Izaña y Tamanrasset (Argelia), validando los resultados frente a los AOD medidos por AERONET. La LUT se optimizó para los aerosoles de polvo mineral. La metodología se ha aplicado a un nuevo radiómetro cenital de banda múltiple estrecha, bajo coste y robusto, desarrollado en colaboración con la empresa Sieltec S.L. El AOD estimado con los nuevos prototipos reflejó unos buenos resultados cuando se validó frente al AOD de referencia de la red AERONET (Almansa *et al.*, 2017).

Durante 2018, se trabajó con una segunda versión mejorada del radiómetro ZEN, el ZEN-R52, utilizando un nuevo diseño para minimizar los reflejos de la luz solar en el interior del instrumento y que incorpora un nuevo filtro para determinar el vapor de agua precipitable. Los resultados preliminares muestran que este nuevo prototipo mejora significativamente la medición del AOD con respecto al ZEN-R41, como consecuencia de la reducción del campo de visión y de una mejor corrección de la luz parásita. También se ha desarrollado un nuevo algoritmo de detección de nubes que se está validando con lidar y con cámaras de todo cielo. El acuerdo del PWV obtenido por el ZEN-R52 con el PWV de AERONET y GNSS es excelente. Una descripción detallada del prototipo ZEN-R52 y de los resultados de la evaluación de los nuevos productos serán objeto de un artículo científico que se publicará entre 2019 y 2020.

## 20.6 Validación del AOD en el rango UV usando espectrofotómetros Brewer dobles

Se ha desarrollado y evaluado un nuevo producto AOD en el rango UV utilizando las instalaciones del banco de pruebas de Izaña y datos auxiliares. En este proyecto se ha puesto en marcha el algoritmo del AOD aplicado a los instrumentos de la red EUBREWNET, que esta está compuesta por cerca de 50 espectrofotómetros Brewer, la mayoría situados en Europa y áreas adyacentes, aunque también son miembros de la red algunos



**Figura 20.11.** Diferencias de AOD entre las observaciones de 1 minuto de los Brewer #183 y #185 calibrados independientemente, representados en función de la masa óptica relativa del aerosol. Las líneas negras gruesas marcan los límites de trazabilidad de la OMM para los instrumentos con un campo de visión finito. Reproducido de López-Solano *et al.* (2017).



instrumentos que operan en, por ejemplo, América del Sur y Australia. Utilizando datos de las campañas de intercomparación Brewer y otras comparaciones realizadas con fotómetros solares Cimel e instrumentos UVPFR, se determinó la exactitud, estabilidad e incertidumbre del AOD determinado por los Brewer en el rango ultravioleta de 300 a 320 nm. Los resultados muestran una exactitud mejor que 0,01, una incertidumbre menor que 0,05 y, para los instrumentos bien mantenidos, una estabilidad similar a la de las mediciones de ozono.

También se evaluaron las mejoras futuras del algoritmo utilizado en el CIAI con respecto a los datos de entrada, su procesamiento y la caracterización de los instrumentos Brewer para la medición del AOD. Los principales resultados del nuevo algoritmo y las correspondientes validaciones se describen en López-Solano *et al.*, 2017.

## 20.7 Evaluación de fotómetros solares portátiles de bajo coste

TENUM es una empresa francesa que ha diseñado y fabricado un pequeño fotómetro solar para propósitos educativos llamado Calitoo. Este instrumento se ha desarrollado bajo la supervisión científica y técnica del Dr. Phillipe Goloub y del ingeniero Luc Blarel del LOA (CNRS-Universidad de Lille). Los fotómetros solares Calitoo se utilizan en el Programa Mundial de Estudio y Observaciones en Beneficio del Medio Ambiente (GLOBE), que es un programa mundial de educación y ciencia práctica, con participación de las escuelas primarias y secundarias (véase la sección 21.2).



**Figura 20.12.** Arriba, a la izquierda y derecha, campañas de calibración de los fotómetros solares Calitoo en 2017 y 2018 en el Observatorio Atmosférico de Izaña. Actividades relativas al Calitoo efectuadas por la empresa TENUM en el CIAI: preparativos y mediciones para la calibración Langley realizadas por Frederic Bouchar y Stéphane Villeneuve (abajo a la izquierda) y pruebas del Calibot (abajo a la derecha) (imágenes por cortesía de TENUM).

Después de su fabricación, los fotómetros solares deben calibrarse periódicamente para proporcionar mediciones del AOD. En los periodos del 26 de junio al 3 de julio de 2017 y del 18 al 27 de junio de 2018, se calibraron un total de 200 fotómetros solares Calitoo utilizando el método Langley en el IZO. Además, en Izaña también se probaron los nuevos desarrollos realizados en el Calitoo: nuevas prestaciones del software, cálculo y análisis del exponente de Ångström en tiempo real, así como el sistema Calibot (acrónimo de CALItoo y roBOT) para realizar el seguimiento solar automático (aún en fase de prueba).

### 20.7.1 Uso potencial de fotómetros solares portátiles de bajo coste para actividades operativas

Actualmente, se utilizan cinco fotómetros solares Calitoo en campañas experimentales promovidas por el CIAI. El objetivo es proporcionar una evaluación completa del uso potencial del fotómetro solar portátil, y muy económico, Calitoo-TENUM para el modelo operativo de polvo y las actividades de validación de las observaciones satelitales en el seno del SDS-WAS de la OMM.

1) Desde febrero de 2017, un fotómetro solar Calitoo ha estado tomando mediciones en el corazón del desierto del Sahara en la estación VAG de la OMM de Tamanrasset (Argelia) (véase la sección 19).

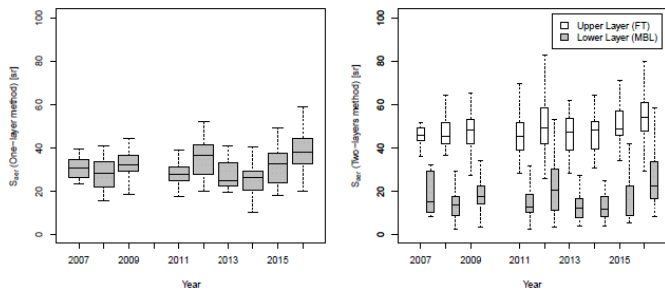
2) Actualmente se están utilizando dos Calitoo en Irán en un proyecto piloto en colaboración con la Organización Meteorológica de la República Islámica del Irán (IRIMO). Uno de ellos se encuentra en la estación de la megaciudad urbana de Teherán desde noviembre de 2016 para monitorizar la contaminación por aerosoles y el impacto de las intrusiones de polvo en la ciudad. El otro ha estado tomando medidas en la estación regional de la VAG del monte Aminabad (Firoozkoh) desde enero de 2018.

3) Desde marzo de 2018 opera un Calitoo a bordo del buque oceanográfico «Ángeles Alvariño» del Instituto Español de Oceanografía (IEO). Este Calitoo está llevando a cabo mediciones marítimas en el océano Atlántico, desde Canarias hasta Galicia, así como en el mar Mediterráneo, desde Cataluña hasta Andalucía.

4) Un Calitoo adicional está operando actualmente en las instalaciones de AEMET en Gran Canaria para probar su viabilidad ante problemas operativos en las observaciones y predicciones meteorológicas. Esta experiencia podría extenderse a los observatorios meteorológicos de muchos aeropuertos del norte de África en el futuro con el fin de ofrecer información adicional en las observaciones SYNOP y METAR para la evaluación de modelos de polvo y la asimilación de datos.

## 20.8 Desarrollo de metodologías basadas en la sinergia de fotómetros y lidares para recuperar datos de extinción vertical de aerosoles

El método Fernald-Klett se usa comúnmente para obtener perfiles de las propiedades ópticas de los aerosoles a partir de lidares elásticos junto con mediciones de AOD de un fotómetro que



**Figura 20.13. Razón lidar a 523 nm de los métodos de una capa (izquierda) y de dos capas (derecha) para cada año entre 2007 y 2017. Los rectángulos centrales se extienden desde el primer cuartil al tercer cuartil y la mediana está representada por una línea horizontal. Los bigotes se definen como los cuartiles superior e inferior  $\pm 1,5$  IQR (rango intercuartílico). Reproducido de Berjón *et al.* (2019).**

se coloca junto a ellos. Este método supone una razón lidar independiente de la altura, lo que implica una distribución vertical de los aerosoles con propiedades físico-químicas que permanecen invariantes en la vertical. Sin embargo, esta aproximación puede ser poco realista cuando se encuentran diferentes tipos de aerosoles a diferentes alturas. Esta situación se puede mejorar realizando mediciones adicionales y con conocimientos previos sobre la distribución vertical de los aerosoles.

Se ha analizado una década de datos lidar y fotométricos a las dos altitudes de los observatorios del IZO y el SCO. Esta región se caracteriza por una inversión térmica casi permanente que divide la troposfera en dos capas: la capa límite marina y la troposfera libre. Como consecuencia, en este estudio se han considerado dos capas con diferentes razones lidar (método de dos capas). Los resultados se comparan con el análisis clásico de una capa (método de una capa).

Los resultados obtenidos sugieren la idoneidad del método de dos capas para estimar los perfiles de retrodispersión y extinción de los aerosoles  $\beta_{\text{aer}}(r)$  y  $\sigma_{\text{aer}}(r)$ , respectivamente, en aquellas situaciones en las que existen diferentes capas de aerosoles en la vertical. La razón lidar obtenida mediante el método de dos capas también fue validada con el valor obtenido de forma independiente por el fotómetro Cimel CE318 en el IZO, con una buena concordancia entre las dos técnicas (las discrepancias medias son de alrededor de 1 sr). Este proyecto se desarrolló durante el periodo 2017-2018 y los resultados se publicaron en Berjón *et al.* (2019).

## 20.9 Referencias

- Almansa, A. F., Cuevas, E., Torres, B., Barreto, Á., García, R. D., Cachorro, V. E., de Frutos, Á. M., López, C. and Ramos, R.: A new zenith-looking narrow-band radiometer-based system (ZEN) for dust aerosol optical depth monitoring, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 565-579, doi:10.5194/amt-10-565-2017, 2017.
- Barreto, Á., Román, R., Cuevas, E., Berjón, A. J., Almansa, A. F., Toledano, C., González, R., Hernández, Y., Blarel, L., Goloub, P., Guirado, C. and Yela, M.: Assessment of nocturnal aerosol optical depth from lunar photometry at the Izaña high mountain observatory, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 3007-3019, https://doi.org/10.5194/amt-10-3007-2017, 2017.

Berjón, A., Barreto, A., Hernández, Y., Yela, M., Toledano, C. and Cuevas, E.: A 10-year characterization of the Saharan Air Layer lidar ratio in the subtropical North Atlantic, *Atmos. Chem. Phys.*, 19, 6331-6349, https://doi.org/10.5194/acp-19-6331-2019, 2019.

García, R. D., Cuevas, E., García, O. E., Ramón, R., Romero-Campos, P. M., de Ory, F., Cachorro, V. E. and de Frutos, A.: Compatibility of different measurement techniques of global solar radiation and application for long-term observations at Izaña Observatory, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 731-743, doi:10.5194/amt-10-731-2017, 2017a. https://www.atmosmeas-tech.net/10/731/2017/amt-10-731-2017.html.

García, R. D., E. Cuevas, A. Barreto, V. Cachorro, R. Ramos, C. Guirado, C. Toledano and K. Hoogendijk: Preliminary results of Aerosol Optical Depth and Angstrom Exponent at the Izaña Atmospheric Observatory from spectral direct irradiance measured with an EKO MS-711 spectroradiometer, 44th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods, 4-8 September, Barcelona, Spain, 2017b.

García, R. D., Barreto, A., Cuevas, E., Gröbner, J., García, O. E., Gómez-Peláez, A., Romero-Campos, P. M., Redondas, A., Cachorro, V. E. and Ramos, R.: Comparison of observed and modelled long-wave downward radiation (2010-2016) at the high mountain BSRN Izaña station, *Geosci. Model Dev. Discuss.*, https://doi.org/10.5194/gmd-2017-303, 2018.

López-Solano, J., Redondas, A., Carlund, T., Rodríguez-Franco, J. J., Diémoz, H., León-Luis, S. F., Hernández-Cruz, B., Guirado-Fuentes, C., Kouremeti, N., Gröbner, J., Kazadzis, S., Carreño, V., Berjón, A., Santana-Díaz, D., Rodríguez-Valido, M., De Bock, V., Moreta, J. R., Rimmer, J., Smedley, A. R. D., Boulkelia, L., Jepsen, N., Eriksen, P., Bais, A. F., Shiroto, V., Vilaplana, J. M., Wilson, K. M. and Karppinen, T.: Aerosol optical depth in the European Brewer Network, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, https://doi.org/10.5194/acp-2017-1003, in review, 2017.

Romero-Campos, P. M., Cuevas-Agulló, E., Kazadzis, S., Kouremeti, N., García-Cabrera, R. D., Guirado-Fuentes, C.: Análisis de la trazabilidad en los valores del AOD obtenidos a partir de las medidas de las redes AERONET-CIMEL y GAWPFR durante el período 2005-2015 en el Observatorio Atmosférico de Izaña, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), *Notas técnicas de AEMET*, 23, 2017. http://hdl.handle.net/20.500.11765/7572.

## 20.10 Personal

- Dr. Emilio Cuevas (AEMET; IP del banco de pruebas);  
 Ramón Ramos (AEMET; jefe de infraestructuras);  
 Pedro Miguel Romero Campos (AEMET; investigador científico);  
 Dra. Rosa García (Air Liquide; investigadora científica);  
 Dra. Carmen Guirado Fuentes (UVA/AEMET; investigadora científica) dejó el CIAI en septiembere de 2019;  
 Dra. África Barreto (CIMEL/AEMET/UVA; investigadora científica);  
 Antonio Fernando Almansa (CIMEL/AEMET; investigador científico);  
 César López Solano (SIELTEC);  
 Dra. Omaira García (AEMET; investigadora científica);  
 Dra. Victoria Cachorro (Universidad de Valladolid; jefa del Grupo de Óptica Atmosférica);  
 Dr. Matthias Schneider (KIT-IMK, investigador científico).

## 21 Actividades formativas

A lo largo del bienio 2017-2018, el CIAI participó en varias actividades de formación, algunas de las cuales se describen a continuación. Para obtener más detalles de estas actividades, consulte las secciones individuales o la página web del CIAI.

### 21.1 Curso de formación profesional sobre «Aerosoles atmosféricos y polvo mineral»: Izaña (Tenerife), 20 de junio a 6 de julio de 2017

El curso de formación fue organizado por el CIAI como actividad de cooperación entre España y la República Islámica del Irán en el marco del Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena de la OMM (SDS-WAS). La Dra. Saviz Sehat Kashani, miembro académico del Centro de investigación sobre ciencias atmosféricas y meteorología de la Organización Meteorológica de la República Islámica del Irán (IRIMO) asistió al curso.

La Dra. Sehat recibió del Dr. Emilio Cuevas información acerca del programa SDS-WAS, las observaciones de polvo mineral y las complementariedades y sinergias con el programa de la VAG de la OMM. La Dra. África Barreto presentó los conceptos principales de la técnica lidar. La Dra. Carmen Guirado Fuentes fue la encargada de detallar los aspectos operativos y científicos de la técnica de fotometría solar y de las actividades realizadas en el laboratorio óptico. El Dr. Sergio Rodríguez y su equipo, la Dra. Elisa Sosa y la Dra. Isabel García, ofrecieron información detallada sobre las técnicas, metodologías y ciencia subyacentes en la medición de aerosoles *in situ*. Fernando Almansa presentó la metodología de medición del nuevo sistema de radiómetros cenitales de banda estrecha (ZEN) para monitorizar el espesor óptico de aerosoles de polvo.

La Dra. Sehat recibió información de primera mano sobre el nuevo software Calitoo y los desarrollos realizados por los ingenieros de Tenum que se encontraban en Izaña en una campaña de calibración. Por último, la Dra. Sehat tuvo la oportunidad de participar en el taller «ACE20: Los sistemas del futuro para la observación atmosférica en el Atlántico Norte. Evaluación del legado del ACE2» (para obtener más detalles al respecto, consulte la sección 22).



Figura 21.1. La Dra. Saviz Sehat con la Dra. Carmen Guirado Fuentes en la terraza de la torre de observación del Observatorio de Izaña.

### 21.2 Proyecto Calima

La Consejería de Educación y Universidades del Gobierno de Canarias y el CIAI iniciaron en 2018 un proyecto conjunto para sensibilizar a toda la comunidad educativa acerca del problema del polvo en suspensión y sus impactos en la salud y el medio ambiente. Este proyecto, denominado «Calima», complementa otra iniciativa de la Consejería de Educación y Universidades: el proyecto Clima. El proyecto Calima incluye el uso pionero de instrumentos de teledetección, y específicamente de fotómetros solares de bajo coste diseñados y producidos para el proyecto GLOBE (Programa Mundial de Estudio y Observaciones en Beneficio del Medio Ambiente). Estos fotómetros son del modelo Calitoo, fabricados por Tenum (fig. 22.2). El Gobierno de Canarias ha adquirido 10 de estos fotómetros que han sido calibrados y verificados en el Observatorio de Izaña.



Figura 21.2. Modelo de fotómetro portátil Calitoo utilizado en el proyecto Calima.

Las escuelas de enseñanza secundaria que se han sumado al proyecto miden de forma rutinaria el espesor óptico de los aerosoles (AOD), utilizando radiómetros de bajo coste. Están enviando sus resultados a una base de datos centralizada que se ha desarrollado en el seno del CIAI y que será utilizada por AEMET, y en concreto por el Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena de la OMM, gestionado por AEMET y por el Centro Nacional de Supercomputación.

Al mismo tiempo, AEMET está brindando información de predicción de AOD para todas y cada una de las escuelas de enseñanza secundaria que participan en el proyecto Calima, así como los datos de aerosoles obtenidos del satélite, para que los estudiantes puedan practicar comparando sus datos con la predicción de polvo atmosférico.

El 12 de abril de 2018, el Observatorio de Izaña acogió un taller al que asistieron los profesores de las ocho islas del archipiélago canario. El Dr. Emilio Cuevas, el Sr. Enric Terradellas y la Dra. Carmen Guirado Fuentes presentaron los conceptos de aerosoles, fotometría y visibilidad, el programa SDS-WAS, así como el uso práctico de los fotómetros solares de bajo coste.





**Figura 21.3. Taller del proyecto Calima celebrado en el Observatorio de Izaña el 12 de abril de 2018.**



**Figura 21.4. Fotografía de grupo de los participantes en el taller del proyecto Calima, Observatorio de Izaña, 12 de abril de 2018.**

Los fotómetros están distribuidos de forma que abarquen por completo todas las islas del archipiélago canario (fig. 22.5), preferiblemente en las zonas soleadas de cada isla ya que se

necesitan cielos despejados para realizar las mediciones. Las islas mayores, Tenerife y Gran Canaria, cuentan con dos fotómetros en funcionamiento, uno cerca de la costa y el segundo a mayor altitud.

Los diez centros educativos que participan en el proyecto Calima en las ocho islas del archipiélago canario son los siguientes:

- El Hierro — Instituto de Educación Secundaria (IES) Garoé
- Fuerteventura — IES Jandía
- Gran Canaria — Centro de Educación Obligatoria (CEO) Tejeda e IES Amurga
- La Gomera — Colegio de Educación Infantil y Primaria (CEIP) Ruiz de Padrón
- La Graciosa — CEO Ignacio Aldecoa
- La Palma — IES Las Breñas
- Lanzarote — IES Yaiza
- Tenerife — IES Los Cristianos y CEO Vilaflor

El 22 de octubre de 2018 se celebró una reunión en el CEIP de La Laguna para reiniciar las actividades del proyecto al inicio del curso escolar. Además, Antonio Cruz Martín (CIAI-AEMET) presentó la aplicación web y la base de datos asociada para cargar los datos recogidos en el Calitoo en los centros educativos (<http://testbed.aemet.es/calimaview/>). En la figura 22.6 se muestra un ejemplo de los datos recopilados entre el 1 de septiembre de 2018 y el 1 de enero de 2019 en el IES Yaiza de Lanzarote y en el IES Los Cristianos de Tenerife.

Estas actividades están financiadas por la Consejería de Educación y Universidades del Gobierno de Canarias, con el asesoramiento y apoyo de AEMET a través del Centro de Investigación Atmosférica de Izaña. Además, cuentan con el apoyo parcial del Programa Mundial de Estudio y Observaciones en Beneficio del Medio Ambiente, la acción InDust COST y el Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena de la OMM.



**Figura 21.5. Situación de los 10 centros educativos participantes en el proyecto Calima en las islas Canarias.**

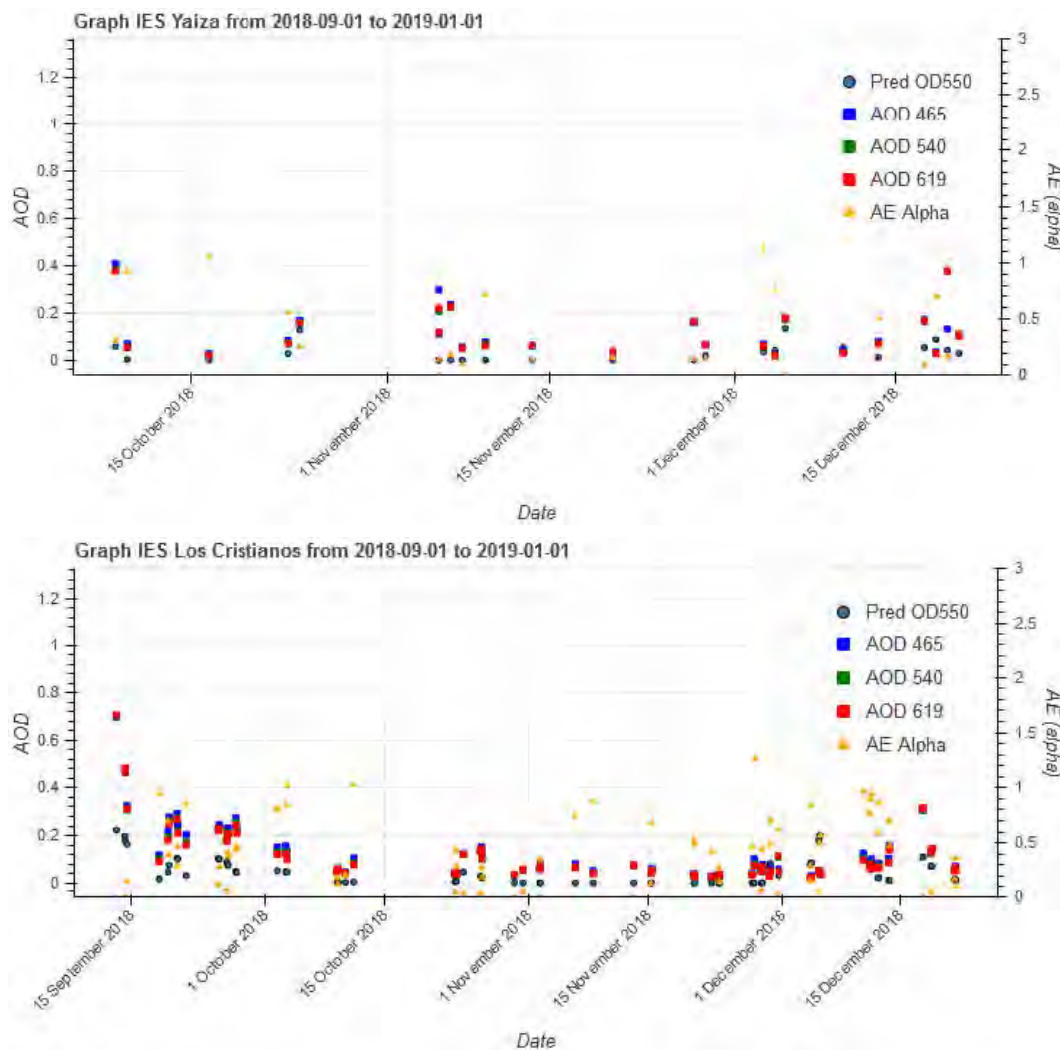


Figura 21.6. Ejemplo de mediciones disponibles en la aplicación web del proyecto (Calima Project Graph View). Espesor óptico de los aerosoles (AOD) a 465 nm, 540 nm y 619 nm y exponente de Ångström (alfa) medidos en a) IES Yaiza y b) IES Los Cristianos, representados junto con la predicción de polvo del Centro Nacional de Supercomputación a 550 nm (Pred OD550) para el periodo del 1 de septiembre al 31 de diciembre de 2018.

### 21.3 Curso de formación profesional sobre «Observación y predicción de la calidad del aire»: Santa Cruz de la Sierra (Bolivia), 15 a 26 de octubre de 2018

La Dra. Natalia Prats Porta (CIAI-AEMET) participó en un curso de formación profesional, organizado y coordinado por AEMET y la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), titulado: «Observación y predicción de la calidad del aire» realizado en Santa Cruz de la Sierra (Bolivia), del 15 al 26 de octubre de 2018.



Figura 21.7. Curso de formación profesional sobre observación y predicción de la calidad del aire, Santa Cruz de la Sierra (Bolivia), 15 a 26 de octubre de 2018.



## 22 Comunicación científica

La principal herramienta de comunicación científica del CIAI es, sin duda, su página web (<http://izana.aemet.es>). Se publican periódicamente información y artículos científicos. También hay una página de Wikipedia. En esta sección, se dan detalles de algunas de las actividades de comunicación científica llevadas a cabo durante el periodo 2017-2018.

### 22.1 Reunión del Grupo de Gestión de HIRLAM: 1 de febrero de 2017

El Consorcio del Modelo de alta resolución para zona limitada (HIRLAM) se creó en 1985, y está integrado por los Servicios Meteorológicos Nacionales de Dinamarca, España, Estonia, Finlandia, Irlanda, Islandia, Lituania, Noruega, Países Bajos y Suecia, con Francia como miembro asociado. Este grupo desarrolla y explota un sistema de predicción numérica del tiempo de alta resolución para su uso operativo en la predicción meteorológica, en el que AEMET participa desde 1997. El Grupo de Gestión de HIRLAM, coincidiendo con la celebración de una de sus reuniones ordinarias, visitó el Observatorio de Izaña el 1 de febrero de 2017. En esta visita, el Grupo de Gestión de HIRLAM valoró las posibilidades potenciales de las instalaciones de Izaña como plataforma de evaluación y calibración del sistema de predicción numérica del tiempo.

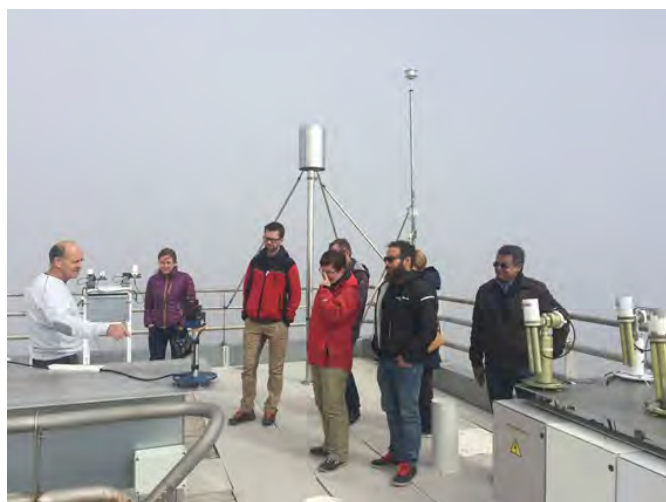


Figura 22.1. Visita de los participantes del Grupo de Gestión de HIRLAM al Observatorio Atmosférico de Izaña, 1 de febrero de 2017.

### 22.2 Presentación del proyecto Teidelab: 27 de marzo de 2017

Teidelab es una iniciativa creada entre la empresa del Teleférico del Teide y diversas instituciones, entre ellas el Centro de Investigación Atmosférica de Izaña, para producir contenidos de alta calidad que avancen y difundan el conocimiento sobre los valores naturales, científicos, culturales y recreativos del Parque Nacional del Teide. Se busca facilitar la colaboración entre diferentes instituciones, tanto las que tienen presencia directa en el Parque, como aquellas que son especialmente relevantes para los intereses del mismo.

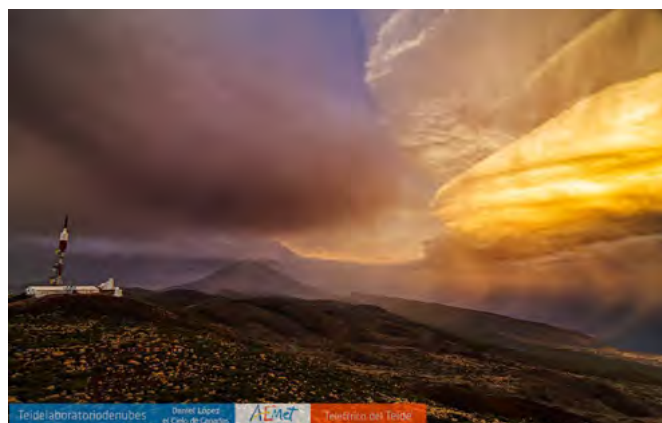
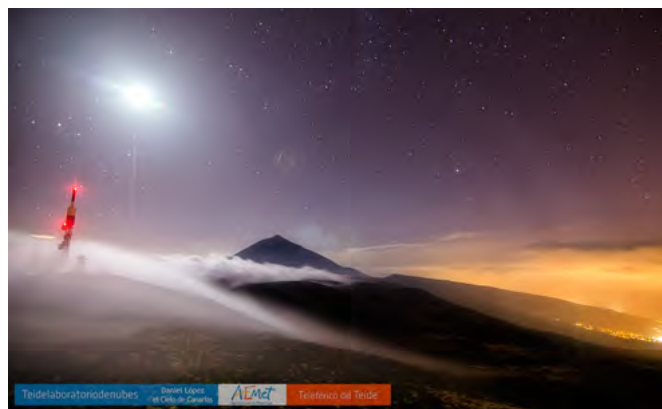


Figura 22.2. Imágenes fotográficas tomadas por Daniel López desde el Observatorio de Izaña durante el proyecto «Laboratorio de nubes del Teide».

El proyecto «Laboratorio de nubes del Teide», que se inició en diciembre de 2015, es uno de los cuatro proyectos de Teidelab. El proyecto es fruto de una colaboración entre el CIAI, la empresa del Teleférico del Teide y el reconocido astrofotógrafo Daniel López, con el principal objetivo de registrar los fenómenos meteorológicos en el Parque Nacional del Teide mediante imágenes fotográficas de alta calidad y vídeos de alta resolución temporal obtenidos con la técnica de «cámara rápida». Se han colocado cámaras dentro de la torre técnica principal del Observatorio de Izaña y en una «Torre de nubes» fuera del observatorio para permitir la captura de imágenes fotográficas diurnas y nocturnas de forma remota (por ejemplo, fig. 22.2). El 27 de marzo de 2017, el Cabildo de Tenerife presentó el proyecto Teidelab en el Museo de Naturaleza y Arqueología de Santa Cruz de Tenerife (fig. 22.3).





Figura 22.3. Participantes de la reunión del proyecto Teidelab en el Museo de Naturaleza y Arqueología, 27 de marzo de 2017.

### 22.3 Décima reunión de los administradores de investigaciones sobre el ozono de las Partes del Convenio de Viena: 28 a 30 de marzo de 2017

La Décima reunión de los administradores de investigaciones sobre el ozono de las Partes del Convenio de Viena, de la Comisión Internacional del Ozono del PNUMA, se celebró en Ginebra (Suiza), del 28 al 30 de marzo de 2017. Rimmer *et al.* (2017) presentaron una descripción general de la acción COST europea EUBREWNET y Redondas (2017) presentó el Informe regional de Europa del Sur. El CIAI aloja EUBREWNET, que comenzó como una red europea pero que ahora incluye cerca de 50 estaciones localizadas por todo el mundo (véase la sección 6.3.1).



Figura 22.4. Participantes de la Décima reunión de los administradores de investigaciones sobre el ozono de las Partes del Convenio de Viena, de la Comisión Internacional del Ozono del PNUMA, Ginebra, 28 a 30 de marzo de 2017.

### 22.4 Reunión del Consejo Ejecutivo de la OMM: 10 a 17 de mayo de 2017

La reunión del Consejo Ejecutivo de la OMM de mayo de 2017 reconoció un primer conjunto de 60 estaciones centenarias de observación de la OMM con el fin de destacar su función y

ayudar a los Estados Miembros a mantenerlas. El Observatorio de Izaña fue reconocido en este primer conjunto de estaciones centenarias de observación en 2017. Las series largas de observación meteorológica forman parte del patrimonio cultural y científico insustituible de la humanidad que atiende las necesidades de las generaciones actuales y futuras de contar con registros climáticos de alta calidad a largo plazo. Constituyen fuentes únicas de información pasada sobre parámetros atmosféricos, por lo que son referencias para la variabilidad del clima y las evaluaciones del cambio climático. Para resaltar esta importancia, la OMM estableció el mecanismo para reconocer estaciones centenarias de observación.

### 22.5 Presentación del documental sobre el Observatorio de Izaña: 2 de junio de 2017

El 2 de junio de 2017 se presentó el documental «Izaña, el lugar donde encontrar las respuestas» en el Museo de la Ciencia y el Cosmos de La Laguna (Tenerife). Este documental fue producido por AEMET para conmemorar el centenario del Observatorio de Izaña, que se celebró en 2016, y está disponible tanto en español como en inglés. El documental describe de forma divulgativa los principales problemas científicos y retos atmosféricos de la actualidad y cómo los aborda la comunidad científica, en general, y el Observatorio de Izaña, en particular.

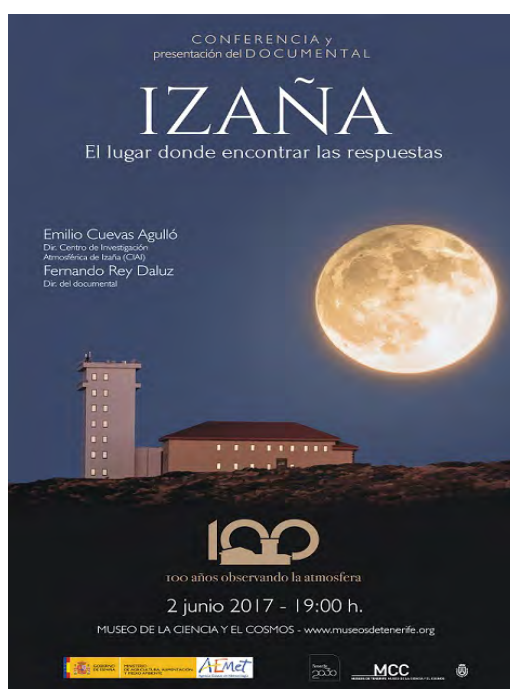


Figura 22.5. Presentación del documental sobre el Observatorio de Izaña en el Museo de la Ciencia y el Cosmos de Tenerife, 2 de junio de 2017. En las imágenes inferiores, de izquierda a derecha: Dr. Emilio Cuevas, Dr. Antonio Mampaso (director del Museo de la Ciencia y el Cosmos) y Fernando Rey Daluz (director del documental) durante la presentación.

## 22.6 Taller ACE20: Los sistemas del futuro para la observación atmosférica en el Atlántico Norte. Evaluación del legado del ACE2: 4 a 6 de julio de 2017

El taller titulado «ACE20: Los sistemas del futuro para la observación atmosférica en el Atlántico Norte. Evaluación del legado del ACE2» tuvo lugar en el hotel Mencey de Santa Cruz de Tenerife, del 4 al 6 de julio de 2017. El taller fue presidido por el Dr. Frank McGovern (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América, EPA), con la presencia del responsable del proyecto ACE2 (1997), el Dr. Frank Raes, así como de destacados especialistas en procesos atmosféricos en el Atlántico Norte. Los miembros del comité director del proyecto ACE20 fueron Leonard Barrie, Emilio Cuevas, Joseph M. Prospero, Kjetil Tørseth y Frank McGovern. El taller ACE20 se organizó en Tenerife para conmemorar el vigésimo aniversario de la celebración del gran experimento de observación de aerosoles en el Atlántico Norte denominado «Segundo experimento de caracterización de aerosoles (ACE-2)» (Raes *et al.*, 2000).



Figura 22.6. Visita de los participantes del Taller ACE20 al Observatorio Atmosférico de Izaña, 5 de julio de 2017.

Uno de los objetivos fundamentales del proyecto ACE2 de 1997 fue el de aumentar la comprensión de los impactos de los contaminantes atmosféricos sobre el clima, centrándose en la región subtropical del Atlántico Norte. Esto se logró mediante el estudio de las propiedades, los procesos y los efectos de los tipos de aerosoles que contrastan en esta región, incluidos los aerosoles marinos de fondo y los asociados a la contaminación antropogénica en la capa límite marina, y los aerosoles de fondo y el polvo mineral en la troposfera libre superpuesta (Raes *et al.*, 2000). Uno de los logros del ACE-2 fue el de proporcionar una comprensión cualitativa, y en muchos casos cuantitativa, del complejo sistema de gases, aerosoles y nubes del medio ambiente marino subtropical.

El vigésimo aniversario del proyecto ACE2 fue la ocasión propicia para examinar su legado, para revisar los progresos científicos y técnicos que le siguieron, y para considerar los desafíos científicos y políticos, actuales y emergentes, en la región del Atlántico Norte y la forma de abordarlos, incluidas las opciones para llevar a cabo un desarrollo adicional de los sistemas de observación. En 2018 Barrie y McGovern publicaron un informe sobre los resultados del taller.

## 22.7 Celebración del trigésimo aniversario del Protocolo de Montreal: 14 de septiembre de 2017

El año 2017 se cumplió el trigésimo aniversario de la implantación del Protocolo de Montreal, el acuerdo internacional que ha llevado a la eliminación de más del 99 % de las sustancias químicas que producen el agotamiento de la capa de ozono.

El 14 de septiembre de 2017, se llevó a cabo una serie de conferencias y mesas redondas en la sede central de AEMET para conmemorar el trigésimo aniversario del Protocolo de Montreal. Los actos conmemorativos fueron inaugurados por Javier Cachón de Mesa, director general de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA). A continuación, Margarita Yela, del INTA (Ministerio de Defensa), explicó brevemente el Protocolo de Montreal.

Posteriormente, se llevaron a cabo dos mesas redondas. En el primer debate, moderado por Emilio Cuevas (CIAI-AEMET) y en el que participaron Margarita Yela, Juan Ramón Moreta (AEMET) y Joaquín Muñoz Sabater (Copernicus), se abordó el enfoque científico del Protocolo de Montreal. En el segundo debate, que fue moderado por Maj Britt Larka (MAPAMA), Óscar González (MAPAMA), Santiago González Muñoz (Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad) y José Manuel López Aranda (experto de ONUDI) intercambiaron sus puntos de vista acerca de los impactos positivos del Protocolo sobre la salud, el medio ambiente y la agricultura.



Figura 22.7. Participantes en el debate de la primera mesa redonda llevada a cabo con motivo de la conmemoración del trigésimo aniversario del Protocolo de Montreal, en la sede central de AEMET en Madrid, 14 de septiembre de 2017.

## 22.8 Taller sobre cambio climático en las islas Canarias: 22 de septiembre de 2017

El Dr. Emilio Cuevas participó en un taller sobre cambio climático en las islas Canarias y sus posibles impactos en la agricultura titulado: «Gestión de los recursos hídricos. Soluciones y desarrollos tecnológicos e innovadores». Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA), La Laguna, Tenerife, 22 de septiembre de 2017.



## 22.9 Taller de resiliencia al cambio climático en las islas Canarias del Centro Común de Investigación: 2 y 3 de noviembre de 2017

El Centro Común de Investigación (CCI) de la Comisión Europea organizó un taller sobre resiliencia al cambio climático en Tenerife los días 2 y 3 de noviembre de 2017. El segundo día del taller (3 de noviembre de 2017) se celebró en el Observatorio de Izaña. Asistieron diversas personas (universitarios, agentes sociales y ciudadanos) con experiencia tanto en la definición del concepto de «resiliencia» como en las implicaciones que tendría para la isla de Tenerife. Con este fin, se organizaron presentaciones, mesas redondas sectoriales, visitas científicas y grupos de debate (fig. 22.8).

En Hernández *et al.* (2018a) figuran las principales conclusiones extraídas del taller, junto con una lista de acciones en forma de propuestas para hacer que la isla sea más resiliente a los impactos externos e internos, ya sean climáticos o socioeconómicos. Otras publicaciones de Hernández-González *et al.* (2016) y Hernández *et al.* (2017, 2018b) se utilizaron como documentos genéricos para este taller. El Dr. Emilio Cuevas realizó una



Figura 22.8. En las cuatro imágenes superiores, participantes del Taller de resiliencia al cambio climático organizado por el Centro Común de Investigación (CCI). En la imagen inferior, Yeray Hernández (coordinador de la iniciativa del CCI) haciendo una presentación en el citado Taller, Observatorio de Izaña, 3 de noviembre de 2017.

presentación sobre la evolución del cambio climático en las islas Canarias y el Dr. Sergio Rodríguez impartió una conferencia acerca de la calidad del aire en Tenerife.

## 22.10 Seminarios sobre polvo atmosférico y sus impactos en diferentes sectores: 22 de noviembre de 2017

El Dr. Emilio Cuevas, el Dr. Sergio Rodríguez y la Dra. Omaidra García (CIAI-AEMET) participaron en los seminarios sobre «Polvo atmosférico y sus impactos en diferentes sectores» en la sede de AEMET en Madrid, el 22 de noviembre de 2017, realizando las siguientes presentaciones:

- Dr. Emilio Cuevas: «Introducción a la problemática del polvo atmosférico».
- Dra. Omaidra García: «Incidencia del polvo mineral en la radiación solar y en el clima».
- Dr. Sergio Rodríguez: «Transporte del polvo mineral del Sahara y su impacto en la calidad del aire».

## 22.11 La Conferencia Chapman de la Unión Geofísica Estadounidense sobre aerosoles estratosféricos: 18 a 23 de marzo de 2018

El programa de la Conferencia Chapman de la Unión Geofísica Estadounidense (AGU), denominada así en homenaje a Sydney Chapman, matemático y físico reconocido por su investigación en geofísica, ha fomentado la investigación innovadora durante más de cuatro décadas. Las conferencias Chapman de la AGU son pequeñas reuniones temáticas diseñadas para permitir la exploración en profundidad de temas especializados de una manera que no es posible llevar a cabo en reuniones de mayor envergadura.

La conferencia Chapman de la AGU sobre «Procesos, interacciones e importancia de los aerosoles estratosféricos en la era post-Pinatubo» se celebró en Puerto de la Cruz (Tenerife), del 18 al 23 de marzo de 2018. El anfitrión local de la conferencia fue el CIAI de AEMET.

El 21 de marzo se realizó una visita organizada de los asistentes a la conferencia al Observatorio Atmosférico de Izaña (fig. 22.9) y al pico del Teide.



Figura 22.9. Visita de los participantes de la Conferencia Chapman sobre aerosoles estratosféricos al Observatorio de Izaña, 21 de marzo de 2018.



Esta Conferencia Chapman sobre aerosoles estratosféricos se centró en abordar las siguientes cuestiones científicas:

- ¿Hasta qué punto se conocen —en periodos de inactividad volcánica— las fuentes, tanto en fase gaseosa como en fase de partículas, de los aerosoles estratosféricos y la influencia de los aerosoles no sulfatados y sus precursores?
- ¿Cuáles son los impactos climáticos de los aerosoles estratosféricos durante los periodos sin actividad volcánica?
- ¿Hasta qué punto las climatologías globales de aerosoles estratosféricos son capaces de capturar el registro de mediciones y las magnitudes relevantes para el clima durante los periodos de inactividad volcánica?
- ¿Qué fiabilidad tienen los modelos en la representación del aerosol estratosférico y sus impactos climáticos en modelos que incluyen climatologías de aerosoles y en aquellos con aerosoles derivados?

## 22.12 IX Taller internacional sobre tormentas de arena y polvo, y la lluvia de polvo asociada: 22 a 24 de mayo de 2018

El IX Taller internacional sobre tormentas de arena y polvo, y la lluvia de polvo asociada tuvo lugar en La Laguna (Tenerife, España) del 22 al 24 de mayo de 2018, y contó con la asistencia de 170 científicos de 37 países (fig. 22.10).

El coordinador del taller fue el Dr. Sergio Rodríguez (CIAI, AEMET). Los talleres sobre polvo se desarrollan en el marco del programa SDS-WAS de la OMM (véase la sección 18 para obtener más detalles sobre este programa). Los talleres de



**Figura 22.10.** Participantes del IX Taller internacional sobre tormentas de arena y polvo, y la lluvia de polvo asociada, La Laguna, 22 a 24 de mayo de 2018.

tormentas de arena y polvo, y las lluvias de polvo asociadas, constituyen un foro científico para analizar y discutir la situación actual de la investigación en materia de polvo, sus conexiones con la calidad del aire, los impactos ambientales y el clima. Hubo siete sesiones diferentes en el taller que abarcaron los siguientes temas generales:

- Fuentes y transporte del polvo
- Efectos del polvo
- Composición y propiedades del polvo
- Polvo, radiación y nubes
- Polvo y océano
- Estudio del polvo a diferentes escalas
- Predicción del polvo y servicios asociados al mismo

El CIAI de AEMET participó en 14 presentaciones orales y en formato de póster (Almansa *et al.*, 2018; Barreto *et al.*, 2018; Basart *et al.*, 2018; Berjón *et al.*, 2018; Cuevas *et al.*, 2018; De la Rosa *et al.*, 2018; García *et al.*, 2018; Guirado-Fuentes *et al.*, 2018; López-Solano *et al.*, 2018a; López-Solano *et al.*, 2018b; Prats *et al.*, 2018; Rodríguez *et al.*, 2018; Saviz *et al.*, 2018; y Sosa *et al.*, 2018).

## 22.13 Presentación de la campaña MEGEI-MAD: 26 de septiembre de 2018

La Dra. Omaira García (CIAI-AEMET) presentó la campaña de campo MEGEI-MAD durante una rueda de prensa celebrada en la sede central de AEMET, en Madrid, el 26 de septiembre de 2017. Pueden encontrarse más detalles acerca del proyecto MEGEI-MAD y de la campaña de campo en la sección 7.3.2.



**Figura 22.11.** La Dra. Omaira García (CIAI-AEMET) durante una rueda de prensa en la presentación de la campaña de campo MEGEI-MAD el 26 de septiembre de 2018.

## 22.14 Referencias

Almansa, A. F., Cuevas, E., Barreto, A., Torres, B. and López-Solano, C. Dust aerosol optical depth (DOD) monitoring with a ZEN-R52 radiometer: An upgraded version of ZEN-R41 prototype. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.

Barreto, A., E. Cuevas, J. Carrillo, A. Berjón, C. Guirado-Fuentes, Y. Hernández, J. C. Guerra and M. Yela. Saharan Air Layer profiling at the Canary Islands using MPL and radiosondes, 9th International

- Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.
- Barrie, L. A. and McGovern, F. Protecting the North Atlantic Atmosphere: A Report on the Outcome of an International Meeting on the Twentieth Anniversary of the Second Aerosol Characterisation Experiment (ACE2). Environmental Protection Agency (EPA) Ireland, Report No. 247, 2018. ISBN: 978-1-84095-773-0.
- Basart, S., García-Castrillo, G., Cuevas, E., Goloub, P., Cazorla, A., Alastuey, A., Mortier, A., Benedetti, A. and Terradellas, E. Towards continuous evaluation of dust profiles in the WMO SDS-WAS. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.
- Berjón, A., A. Barreto, Y. Hernández, E. Cuevas, M. Yela. Lidar signal analysis using AOD at two heights. 9th International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.
- Cuevas, E., J. J. Bustos, S. Rodríguez, C. Marrero, E. Reyes, R. D. García, O. E. García, A. Barreto and C. Guirado. Short-term variations of the Saharan Air Layer atmospheric properties over the North Atlantic driven by NAFDI: Summer 2017 case analysis, 9th International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May, 2018.
- De la Rosa, J. D., Rodríguez, S., García-Álvarez, M. I., Sosa, E., Salvador, A., Sánchez de la Campa, A. M., Márquez, G., Rodríguez-Aller, J. and Gil-Ibarguchi, J. I. Sr-Nd isotope composition of Saharan dust observed in the North Atlantic free troposphere. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.
- García, R. D., O. E. García, E. Cuevas and J. J. Bustos. Long-term aerosol optical depth (1941-2017) at the Izaña Observatory, 9th International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.
- Guirado-Fuentes, C., Y. Hernández, E. Cuevas, Validation of Calitoo hand-held sun photometer for aerosol characterization under background and dust conditions, 9th International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.
- Hernández-González, Y., Guimarães-Pereira, A., Rodríguez, S., Cuevas, E., and Barbosa, P. Perspectives on contentions about climate change adaptation in the Canary Islands: A case study for Tenerife. 2016. European Union, Luxembourg, EUR 28340 EN, doi: 10.2788/282252.
- Hernández, Y., Barbosa, P. and Corral, S., Scenarios for resilience and climate adaptation strategies in Tenerife (Canary Islands): three pathways towards 2040, EUR 28786, 2017, doi:10.2760/587634.
- Hernández, Y., Barbosa, P., Guimarães Pereira, Â., and Rivas, S., editor(s). Outcomes from the 'Resilient Tenerife' Workshop: a proposal for action, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018a, JRC112461, doi:10.2760/615063.
- Hernández, Y., Guimarães Pereira, Â. and P. Barbosa. "Resilient futures of a small island: A participatory approach in Tenerife (Canary Islands) to address climate change", *Environmental Science & Policy*, 80, 28-37, 2018b.
- López-Solano, J., Redondas, A., Carlund, T., Rodríguez-Franco, J. J., Diémoz, H., León-Luis, S. F., Hernández-Cruz, B., Guirado-Fuentes, C., Kouremeti, N., Gröbner, J., Kazadzis, S., Carreño, V., Berjón, A., Santana-Díaz, D., Rodríguez-Valido, M., De Bock, V., Moreta, J. R., Rimmer, J., Smedley, A. R. D., Boulkelia, L., Jepsen, N., Eriksen, P., Bais, A. F., Shiroto, V., Vilaplana, J. M., Wilson, K. M. and Karppinen, T. UV Aerosol Optical Depth in the European Brewer Network. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018a.
- López-Solano, J., Rodríguez, S., Pérez García-Pando, C., Sosa, E., García, M. I., Bustos, J. J., Marrero, C. and Alonso-Pérez, S. Northern African sources of mineral dust from measurements at the Izaña GAW Observatory. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018b.
- Prats, N., González, P., Sanz, R. Extraordinary lightning episode during 12th and 13th of August 2015 in Canary region, was it the effect of dust aerosols? 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.
- Raes, F., T. Bates, F. McGovern and M. Van Liedekerke. The 2nd Aerosol Characterization Experiment (ACE-2): general overview and main results, *Tellus*, 52B, 141-168, 2000.
- Redondas, A. South Europe Regional Report: Armenia, Italy, Spain & Turkey. The 10th meeting of the Ozone Research Managers of the Parties to the Vienna Convention, Geneva, 28-30 March 2017.
- Rodríguez, S., Lucarelli, F., Nava, S., García, M. I., López-Solano, J., Marrero, C., Cuevas, E., Prats, N. High variability of dust composition in the Saharan Air Layer. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.
- Sehatkashani, S., E. Cuevas, C. Guirado-Fuentes, M. Rashidzad, G. García-Castrillo, A. Ranjbar. Aerosol characterization using Calitoo hand-held sunphotometer at the District 22 of Tehran, 9th International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.
- Sosa, E., Rodríguez, S., García, M. I., López-Solano, J., Prats, N. Assessing the response of a TEOM dichotomous FDMS and BETA monitors to aerosol dust in the Saharan Air Layer. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.

## 23 Publicaciones

### 23.1 Lista de artículos revisados por pares

2018

- Alonso-Blanco, E., Gómez-Moreno, F. J., Artfñano, B., Iglesias-Samitier, S., Juncal-Bello, V., Piñeiro-Iglesias, M., López-Mahía, P., Pérez, N., Brines, M., Alastuey, A., García, M. I., Rodríguez, S., Sorribas, M., Águila, A. del, Titos, G., Lyamani, H., Alados-Arboledas, L.: Temporal and spatial variability of atmospheric particle number size distributions across Spain, *Atmospheric Environment*, 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.06.046>, en prensa, 2018.
- Benedetti, A., Reid, J. S., Knippertz, P., Marsham, J. H., Di Giuseppe, F., Rémy, S., Basart, S., Boucher, O., Brooks, I. M., Menut, L., Mona, L., Laj, P., Pappalardo, G., Wiedensohler, A., Baklanov, A., Brooks, M., Colarco, P. R., Cuevas, E., da Silva, A., Escrivano, J., Flemming, J., Huneeus, N., Jorba, O., Kazadzis, S., Kinne, S., Popp, T., Quinn, P. K., Sekiyama, T. T., Tanaka, T., and Terradellas, E.: Status and future of numerical atmospheric aerosol prediction with a focus on data requirements, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 10615-10643, <https://doi.org/10.5194/acp-18-10615-2018>, 2018.
- Berjón, A., Redondas, A., Sildoja, M.-M., Nevas, S., Wilson, K., León-Luis, S. F., el Gawhary, O., and Fountoulakis, I.: Sensitivity study of the instrumental temperature corrections on Brewer total ozone column measurements, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 3323-3337, <https://doi.org/10.5194/amt-11-3323-2018>, 2018.
- Borger, C., Schneider, M., Ertl, B., Hase, F., García, O. E., Sommer, M., Höpfner, M., Tjemkes, S. A., and Calbet, X.: Evaluation of MUSICA IASI tropospheric water vapour profiles using theoretical error assessments and comparisons to GRUAN Vaisala RS92 measurements, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 4981-5006, <https://doi.org/10.5194/amt-11-4981-2018>, 2018.
- Borsdorff, T., van de Brugh, J., Hu, H., Hasekamp, O., Sussmann, R., Rettinger, M., Hase, F., Gross, J., Schneider, M., García, O., Stremme, W., Grutter, M., Feist, D. G., Arnold, S. G., De Mazière, M., Kumar Sha, M., Pollard, D. F., Kiel, M., Roehl, C., Wennberg, P. O., Toon, G. C. and Landgraf, J.: Mapping carbon monoxide pollution from space down to city scales with daily global coverage, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 5507-5518, <https://doi.org/10.5194/amt-11-5507-2018>, 2018.
- Che, H., Qi, B., Zhao, H., Xia, X., Eck, T. F., Goloub, P., Dubovik, O., Estelles, V., Cuevas-Agulló, E., Blarel, L., Wu, Y., Zhu, J., Du, R., Wang, Y., Wang, H., Gui, K., Yu, J., Zheng, Y., Sun, T., Chen, Q., Shi, G. and Zhang, X.: Aerosol optical properties and direct radiative forcing based on measurements from the China Aerosol Remote Sensing Network (CARSNET) in eastern China, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 405-425, <https://doi.org/10.5194/acp-18-405-2018>, 2018.
- Collaud Coen, M., Andrews, E., Aliaga, D., Andrade, M., Angelov, H., Bukowiecki, N., Ealo, M., Fialho, P., Flentje, H., Hallar, A. G., Hooda, R., Kalapov, I., Krejci, R., Lin, N.-H., Marinoni, A., Ming, J., Nguyen, N. A., Pandolfi, M., Pont, V., Ries, L., Rodríguez, S., Schauer, G., Sellegri, K., Sharma, S., Sun, J., Tunved, P., Velasquez, P. and Ruffieux, D.: Identification of topographic features influencing aerosol observations at high altitude stations, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 12289-12313, <https://doi.org/10.5194/acp-18-12289-2018>, 2018.
- Cuevas, E., Romero-Campos, P. M., Kouremeti, N., Kazadzis, S., García, R. D., Barreto, A., Guirado-Fuentes, C., Ramos, R., Toledano, C., Almansa, F., and Gröbner, J.: Aerosol Optical Depth comparison between GAW-PFR and AERONET-Cimel radiometers from long term (2005-2015) 1-minute synchronous measurements, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/amt-2018-438>, 2018.
- Driemel, A., Augustine, J., Behrens, K., Colle, S., Cox, C., Cuevas-Agulló, E., Denn, F. M., Duprat, T., Fukuda, M., Grobe, H., Haefelin, M., Hodges, G., Hyett, N., Ijima, O., Kallis, A., Knap, W., Kustov, V., Long, C. N., Longenecker, D., Lupi, A., Maturilli, M., Mimouni, M., Ntsangwane, L., Ogihara, H., Olano, X., Olefs, M., Omore, M., Passamani, L., Pereira, E. B., Schmithüsen, H., Schumacher, S., Sieger, R., Tamlyn, J., Vogt, R., Vuilleumier, L., Xia, X., Ohmura, A. and König-Langlo, G.: Baseline Surface Radiation Network (BSRN): structure and data description (1992-2017), *Earth Syst. Sci. Data*, 10, 1491-1501, <https://doi.org/10.5194/essd-10-1491-2018>, 2018.
- Frey, M., Sha, M. K., Hase, F., Kiel, M., Blumenstock, T., Harig, R., Surawicz, G., Deutscher, N. M., Shiomi, K., Franklin, J., Bösch, H., Chen, J., Grutter, M., Ohyama, H., Sun, Y., Butz, A., Mengistu Tsidu, G., Ene, D., Wunch, D., Cao, Z., García, O., Ramonet, M., Vogel, F. and Orphal, J.: Building the Collaborative Carbon Column Observing Network (COCCON): Long term stability and ensemble performance of the EM27/SUN Fourier transform spectrometer, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/amt-2018-146>, en revisión, 2018.
- García, R. D., Barreto, A., Cuevas, E., Gröbner, J., García, O. E., Gómez-Peláez, A., Romero-Campos, P. M., Redondas, A., Cachorro, V. E. and Ramos, R.: Comparison of observed and modeled cloud-free longwave downward radiation (2010-2016) at the high mountain BSRN Izaña station, *Geosci. Model Dev.*, 11, 2139-2152, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-2139-2018>, 2018.
- García, R. D., Cuevas, E., Ramos, R., Cachorro, V. E., Redondas, A. and Moreno-Ruiz, J. A.: Description of the Baseline Surface Radiation Network (BSRN) station at the Izaña Observatory (2009-2017): measurements and quality control/assurance procedures, *Geosci. Instrum. Method. Data Syst. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/gi-2018-41>, 2018.
- García, O. E., Schneider, M., Ertl, B., Sepúlveda, E., Borger, C., Diekmann, C., Wiegele, A., Hase, F., Barthlott, S., Blumenstock, T., Raffalski, U., Gómez-Peláez, A., Steinbacher, M., Ries, L. and de Frutos, A. M.: The MUSICA IASI CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O products and their comparison to HIPPO, GAW and NDACC FTIR references, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 4171-4215, <https://doi.org/10.5194/amt-11-4171-2018>, 2018.
- Gaudel, A., O. R. Cooper, G. Ancellet, B. Barret, A. Boynard, J. P. Burrows, C. Clerbaux, P.-F. Coheur, J. Cuesta, E. Cuevas, S. Doniki, G. Dufour, F. Ebojje, G. Foret, O. Garcia, M. J. Granados-Muñoz, J. W. Hannigan, F. Hase, B. Hassler, G. Huang, D. Hurtmans, D. Jaffe, N. Jones, P. Kalabokas, B. Kerridge, S. Kulawik, B. Latter, T. Leblanc, E. Le Flochmoën, W. Lin, J. Liu, X. Liu, E. Mahieu, A. McClure-Begley, J. L. Neu, M. Osman, M. Palm, H. Petetin, I. Petropavlovskikh, R. Querel, N. Rapp, A. Rozanov, M. G. Schultz, J. Schwab, R. Siddans, D. Smale, M. Steinbacher, H. Tanimoto, D. W. Tarasick, V. Thouret, A. M. Thompson, T. Trickl, E. Weatherhead, C. Wespes, H. M. Worden, C. Vigouroux, X. Xu, G. Zeng, J. Ziemke: The Tropospheric Ozone Assessment Report: Present-day distribution and trends of tropospheric ozone relevant to climate and global atmospheric chemistry model evaluation, *Elem. Sci. Anth.*, 6: 39. doi: <https://doi.org/10.1525/elementa.291>, 2018.
- Kazadzis, S., Kouremeti, N., Diémoz, H., Gröbner, J., Forgan, B. W., Campanelli, M., Estellés, V., Lantz, K., Michalsky, J., Carlund, T., Cuevas, E., Toledano, C., Becker, R., Nyeki, S., Kosmopoulos, P. G., Tatsiankou, V., Vuilleumier, L., Denn, F. M., Ohkawara, N.,



- Ijima, O., Goloub, P., Raptis, P.I., Milner, M., Behrens, K., Barreto, A., Martucci, G., Hall, E., Wendell, J., Fabbri, B. E. and Wehrli, C.: Results from the Fourth WMO Filter Radiometer Comparison for aerosol optical depth measurements, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 3185-3201, <https://doi.org/10.5194/acp-18-3185-2018>, 2018.
- Köhler, U., Nevas, S., McConville, G., Evans, R., Smid, M., Stanek, M., Redondas, A. and Schönenborn, F.: Optical characterisation of three reference Dobsons in the ATMOZ Project — verification of G.M.B. Dobson's original specifications, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 1989-1999, <https://doi.org/10.5194/amt-11-1989-2018>, 2018.
- Lakkala, K., Redondas, A., Meinander, O., Thölix, L., Hamari, B., Almansa, A.F., Carreno, V., García, R.D., Torres, C., Deferrari, G., Ochoa, H., Bernhard, G., Sanchez, R. and de Leeuw, G.: UV measurements at Marambio and Ushuaia during 2000-2010, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 16019-16031, <https://doi.org/10.5194/acp-18-16019-2018>, 2018.
- López-Solano, J., Redondas, A., Carlund, T., Rodríguez-Franco, J.J., Diémoz, H., León-Luis, S.F., Hernández-Cruz, B., Guirado-Fuentes, C., Kouremeti, N., Gröbner, J., Kazadzis, S., Carreño, V., Berjón, A., Santana-Díaz, D., Rodríguez-Valido, M., De Bock, V., Moreta, J.R., Rimmer, J., Smedley, A.R.D., Boulkelia, L., Jepsen, N., Eriksen, P., Bais, A.F., Shiroto, V., Vilaplana, J.M., Wilson, K.M. and Karppinen, T.: Aerosol optical depth in the European Brewer Network, *Atmos. Chem. Phys.*, <https://doi.org/10.5194/acp-18-3885-2018>, 2018.
- O'Dell, C.W., Eldering, A., Wennberg, P.O., Crisp, D., Gunson, M.R., Fisher, B., Frankenberg, C., Kiel, M., Lindqvist, H., Mandrake, L., Merrelli, A., Natraj, V., Nelson, R.R., Osterman, G.B., Payne, V.H., Taylor, T.E., Wunch, D., Drouin, B.J., Oyafuso, F., Chang, A., McDuffie, J., Smyth, M., Baker, D.F., Basu, S., Chevallier, F., Crowell, S.M.R., Feng, L., Palmer, P.I., Dubey, M., García, O.E., Griffith, D.W.T., Hase, F., Iraci, L.T., Kivi, R., Morino, I., Notholt, J., Ohyama, H., Petri, C., Roehl, C.M., Sha, M.K., Strong, K., Sussmann, R., Te, Y., Uchino, O. and Velasco, V.A.: Improved retrievals of carbon dioxide from Orbiting Carbon Observatory-2 with the version 8 ACOS algorithm, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 6539-6576, <https://doi.org/10.5194/amt-11-6539-2018>, 2018.
- Pandolfi, M., Alados-Arboledas, L., Alastuey, A., Andrade, M., Angelov, C., Artiñano, B., Backman, J., Baltensperger, U., Bonasoni, P., Bukowiecki, N., Collaud Coen, M., Conil, S., Coz, E., Crenn, V., Dudouit, V., Ealo, M., Eleftheriadis, K., Favez, O., Fetfatzis, P., Fiebig, M., Flentje, H., Ginot, P., Gysel, M., Henzing, B., Hoffer, A., Holubova Smejkalova, A., Kalapov, I., Kalivitis, N., Kouvarakis, G., Kristensson, A., Kulmala, M., Lihavainen, H., Lunder, C., Luoma, K., Lyamani, H., Marinoni, A., Mihalopoulos, N., Moerman, M., Nicolas, J., O'Dowd, C., Petäjä, T., Petit, J.-E., Pichon, J.M., Prokopiuk, N., Putaud, J.-P., Rodríguez, S., Sciare, J., Sellegri, K., Swietlicki, E., Titos, G., Tuch, T., Tunved, P., Ulevicius, V., Vaishya, A., Vana, M., Virkkula, A., Vratolis, S., Weingartner, E., Wiedensohler, A. and Laj, P.A.: European aerosol phenomenology — 6: scattering properties of atmospheric aerosol particles from 28 ACTRIS sites, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 7877-7911, <https://doi.org/10.5194/acp-18-7877-2018>, 2018.
- Redondas, A., Nevas, S., Berjón, A., Sildoja, M.-M., León-Luis, S.F., Carreño, V. and Santana-Díaz, D.: Wavelength calibration of Brewer spectrophotometer using a tunable pulsed laser and implications to the Brewer ozone retrieval, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 3759-3768, <https://doi.org/10.5194/amt-11-3759-2018>, 2018.
- Rimmer, J.S., Redondas, A. and Karppinen, T.: EuBrewNet — A European Brewer network (COST Action ES1207), an overview, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 10347-10353, <https://doi.org/10.5194/acp-18-10347-2018>, 2018.
- Tobías, A., Rivas, I., Reche, C., Alastuey, A., Rodríguez, S., Fernández-Camacho, R., Sánchez de la Campa, A.M., de la Rosa, J., Sunyer, J., Querol, X.: Short-term effects of ultrafine particles on daily mortality by primary vehicle exhaust versus secondary origin in three Spanish cities., *Environ. Int.*, 111, 144-151, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.11.015>, 2018.
- Toledano, C., González, R., Fuertes, D., Cuevas, E., Eck, T.F., Kazadzis, S., Kouremeti, N., Gröbner, J., Goloub, P., Blarel, L., Román, R., Barreto, Á., Berjón, A., Holben, B.N. and Cachorro, V.E.: Assessment of Sun photometer Langley calibration at the high-elevation sites Mauna Loa and Izaña, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 14555-14567, <https://doi.org/10.5194/acp-18-14555-2018>, 2018.
- Vigouroux, C., Bauer Aquino, C.A., Bauwens, M., Becker, C., Blumenstock, T., De Mazière, M., García, O., Grutter, M., Guarín, C., Hannigan, J., Hase, F., Jones, N., Kivi, R., Koshelev, D., Langerock, B., Lutsch, E., Makarova, M., Metzger, J.-M., Müller, J.-F., Notholt, J., Ortega, I., Palm, M., Paton-Walsh, C., Poberovskii, A., Rettinger, M., Robinson, J., Smale, D., Stavrou, T., Stremme, W., Strong, K., Sussmann, R., Té, Y. and Toon, G.: DACC harmonized formaldehyde time-series from 21 FTIR stations covering a wide range of column abundances, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 5049-5073, <https://doi.org/10.5194/amt-11-5049-2018>, 2018.
- Yuan, Y., Ries, L., Petermeier, H., Steinbacher, M., Gómez-Peláez, A.J., Leuenberger, M.C., Schumacher, M., Trickl, T., Couret, C., Meinhardt, F., and Menzel, A.: Adaptive selection of diurnal minimum variation: a statistical strategy to obtain representative atmospheric CO<sub>2</sub> data and its application to European elevated mountain stations, *Atmos. Meas. Tech.*, 11, 1501-1514, <https://doi.org/10.5194/amt-11-1501-2018>, 2018.

## 2017

- Almansa, A.F., Cuevas, E., Torres, B., Barreto, Á., García, R.D., Cachorro, V.E., de Frutos, Á.M., López, C., and Ramos, R.: A new zenith-looking narrow-band radiometer-based system (ZEN) for dust aerosol optical depth monitoring, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 565-579, [doi:10.5194/amt-10-565-2017](https://doi.org/10.5194/amt-10-565-2017), 2017.
- Azorín-Molina, C., Menéndez, M., McVicar, T.R., Acevedo, A., Vicente-Serrano, S.M., Cuevas, E., Míñola, L., Chen, D.: Wind speed variability over the Canary Islands, 1948-2014: focusing on trend differences at the land-ocean interface and below-above the trade-wind inversion layer, *Clim. Dyn.*, DOI 10.1007/s00382-017-3861-0, 2017.
- Bader, W., Bovy, B., Conway, S., Strong, K., Smale, D., Turner, A.J., Blumenstock, T., Boone, C., Collaud Coen, M., Coulon, A., García, O., Griffith, D.W.T., Hase, F., Hausmann, P., Jones, N., Krummel, P., Murata, I., Morino, I., Nakajima, H., O'Doherty, S., Paton-Walsh, C., Robinson, J., Sandrin, R., Schneider, M., Servais, C., Sussmann, R. and Mahieu, E.: The recent increase of atmospheric methane from 10 years of ground-based NDACC FTIR observations since 2005, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 2255-2277, [doi:10.5194/acp-17-2255-2017](https://doi.org/10.5194/acp-17-2255-2017), 2017.
- Barreto, Á., Román, R., Cuevas, E., Berjón, A.J., Almansa, A.F., Toledano, C., González, R., Hernández, Y., Blarel, L., Goloub, P., Guirado, C. and Yela, M.: Assessment of nocturnal aerosol optical depth from lunar photometry at the Izaña high mountain observatory, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 3007-3019, <https://doi.org/10.5194/amt-10-3007-2017>, 2017.
- Barthlott, S., Schneider, M., Hase, F., Blumenstock, T., Kiel, M., Dubravica, D., García, O.E., Sepúlveda, E., Mengistu Tsidu, G.,

- Takele Kenea, S., Grutter, M., Plaza-Medina, E. F., Stremme, W., Strong, K., Weaver, D., Palm, M., Warneke, T., Notholt, J., Mahieu, E., Servais, C., Jones, N., Griffith, D. W. T., Smale, D., and Robinson, J.: Tropospheric water vapour isotopologue data (H216O, H218O, and HD16O) as obtained from NDACC/FTIR solar absorption spectra, *Earth Syst. Sci. Data*, 9, 15-29, doi:10.5194/essd-9-15-2017, 2017.
- Castillo, S., A. Alastuey, E. Cuevas, X. Querol, A. Ávila: Quantifying Dry and Wet Deposition Fluxes in Two Regions of Contrasting African Influence: The NE Iberian Peninsula and the Canary Islands, *Atmosphere* 2017, 8, 5, 86; doi:10.3390/atmos8050086, 2017.
- Córdoba-Jabonero, C., F. J. S. Lopes, E. Landulfo, E. Cuevas, H. Ochoa and M. Gil-Ojeda: Diversity on subtropical and polar cirrus clouds properties as derived from both ground-based lidars and CALIPSO/CALIOP measurements, *Atmos. Res.*, 183, 151-165, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.08.0155>, 2017.
- Cuevas, E., A. J. Gómez-Peláez, S. Rodríguez, E. Terradellas, S. Basart, R. D. García, O. E. García, S. Alonso-Pérez: The pulsating nature of large-scale Saharan dust transport as a result of interplays between mid-latitude Rossby waves and the North African Dipole Intensity, *Atmospheric Environment*, 167, 586-602, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.059>, 2017.
- De Linares, C., Delgado, R., Air, M. J., Alcázar, P., Alonso-Pérez, S., Boi, M., Cariñanos, P., Cuevas, E., Díaz de la Guardia, C., Elvira-Rendueles, B., Fernández-González, D., Galán, C., Gutiérrez-Bustillo, A. M., Pérez-Badía, R., Rodríguez-Rajo, F. J., Ruiz-Valenzuela, L., Tormo-Molina, R., Trigo, M., Valencia-Barrera, R. M., Valle, A., Belmonte, J.: Changes in the Mediterranean pine forest: pollination patterns and annual trends of airborne pollen *Aerobiologia*, doi: 10.1007/s10453-017-9476-4, 2017.
- Fountoulakis, I., Redondas, A., Lakkala, K., Berjon, A., Bais, A. F., Doppler, L., Feister, U., Heikkilä, A., Karppinen, T., Karhu, J. M., Koskela, T., Garane, K., Fragkos, K. and Savastiouk, V.: Temperature dependence of the Brewer global UV measurements, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 4491-4505, <https://doi.org/10.5194/amt-10-4491-2017>, 2017.
- García, M. I., Rodríguez, S. and Alastuey, A.: Impact of North America on the aerosol composition in the North Atlantic free troposphere, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 7387-7404, <https://doi.org/10.5194/acp-17-7387-2017>, 2017.
- García, M. I. van Drooge, B. L., Rodríguez, S., and Alastuey, A.: Speciation of organic aerosols in the Saharan Air Layer and in the free troposphere westerlies, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 8939-8958, <https://doi.org/10.5194/acp-17-8939-2017>, 2017.
- García, R. D., Cuevas, E., García, O. E., Ramón, R., Romero-Campos, P. M., de Ory, F., Cachorro, V. E. and de Frutos, A.: Compatibility of different measurement techniques of global solar radiation and application for long-term observations at Izaña Observatory, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 731-743, doi:10.5194/amt-10-731-2017, 2017.
- García, O. E., Sepúlveda, E., Schneider, M., Wiegeler, A., Borger, C., Hase, F., Barthlott, S., Blumenstock, T. and de Frutos, Á. M.: Upper tropospheric CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O retrievals from MetOp/IASI within the project MUSICA, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, doi:10.5194/amt-2016-326, 2017.
- Gómez-Peláez, A. J., Ramos, R., Cuevas, E., Gómez-Trueba, V. and Reyes, E.: Atmospheric CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and CO with CRDS technique at the Izaña Global GAW station: instrumental tests, developments and first measurement results, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/amt-2017-375>, 2017.
- Huang, G., Liu, X., Chance, K., Yang, K., Bhartia, P. K., Cai, Z., Allaart, M., Ancellet, G., Calpini, B., Coetzee, G. J. R., Cuevas-Agulló, E., Cupeiro, M., De Backer, H., Dubey, M. K., Fuelberg, H. E., Fujiwara, M., Godin-Beekmann, S., Hall, T. J., Johnson, B., Joseph, E., Kivi, R., Kois, B., Komala, N., König-Langlo, G., Laneve, G., Leblanc, T., Marchand, M., Minschwaner, K. R., Morris, G., Newchurch, M. J., Ogino, S.-Y., Ohkawara, N., Piters, A. J. M., Posny, F., Querel, R., Scheele, R., Schmidlin, F. J., Schnell, R. C., Schrems, O., Selkirk, H., Shiotani, M., Skrivánková, P., Stübi, R., Taha, G., Tarasick, D. W., Thompson, A. M., Thouret, V., Tully, M. B., Van Malderen, R., Vömel, H., von der Gathen, P., Witte, J. C. and Yela, M.: Validation of 10-year SAO OMI Ozone Profile (PROFOZ) product using ozonesonde observations, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 2455-2475, <https://doi.org/10.5194/amt-10-2455-2017>, 2017.
- Kazadzis, S., Kouremeti, N., Diémoz, H., Gröbner, J., Forgan, B. W., Campanelli, M., Estellés, V., Lantz, K., Michalsky, J., Carlund, T., Cuevas, E., Toledano, C., Becker, R., Nyeki, S., Kosmopoulos, P. G., Tatsiankou, V., Vuilleumier, L., Denn, F. M., Ohkawara, N., Ijima, O., Goloub, P., Raptis, P. I., Milner, M., Behrens, K., Barreto, A., Martucci, G., Hall, E., Wendell, J., Fabbri, B. E. and Wehrli, C.: Results from the 4th WMO Filter Radiometer Comparison for aerosol optical depth measurements, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/acp-2017-1105>, en revisión, 2017.
- Móring, A., Vieno, M., Doherty, R. M., Milford, C., Nemitz, E., Twigg, M. M., Horváth, L. and Sutton, M. A.: Process-based modelling of NH<sub>3</sub> exchange with grazed grasslands, *Biogeosciences*, 14, 4161-4193, <https://doi.org/10.5194/bg-14-4161-2017>, 2017.
- Román, R., B. Torres, D. Fuertes, V. E. Cachorro, O. Dubovik, C. Toledano, A. Cazorla, A. Barreto, J. L. Bosch, T. Lapyonok, R. González, P. Goloub, M. R. Perrone, F. J. Olmo, A. de Frutos, L. Alados-Arboledas: Remote sensing of lunar aureole with a sky camera: Adding information in the nocturnal retrieval of aerosol properties with GRASP code, *Remote Sensing of Environment*, 196, 238-252, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.05.013>, 2017.
- Schneider, M., Borger, C., Wiegeler, A., Hase, F., García, O. E., Sepúlveda, E., and Werner, M.: MUSICA MetOp/IASI {H<sub>2</sub>O, δD} pair retrieval simulations for validating tropospheric moisture pathways in atmospheric models, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 507-525, doi:10.5194/amt-10-507-2017, 2017.
- Schultz, M. G., Schröder, S., Lyapina, O., Cooper, O. R., Galbally, I., Petropavlovskikh, I., von Schneidmesser, E., Tanimoto, H., Elshorbany, Y., Naja, M., Seguel, R. J., Dauert, U., Eckhardt, P., Feigenspan, S., Fiebig, M., Hjellbrekke, A.-G., Hong, Y.-D., Kjeld, P. Ch., Koide, H., Lear, G., Tarasick, D., Ueno, M., Wallasch, M., Baumgardner, D., Chuang, M.-T., Gillett, R., Lee, M., Molloy, S., Moolla, R., Wang, T., Sharps, K., Adame, J. A., Ancellet, G., Apadula, F., Artaxo, P., Barlasina, M. E., Bogucka, M., Bonasoni, P., Chang, L., Colomb, A., Cuevas-Agulló, E., Cupeiro, M., Degorska, A., Ding, A., Fröhlich, M., Frolova, M., Gadhavi, H., Gheusi, F., Gilge, S., González, M. Y., Gros, V., Hamad, S. H. Helmig, D., Henriques, D., Hermansen, O., Holla, R., Hueber, J., Im, U., Jaffe, D. A., Komala, N., Kubistin, D., Lam, K.-S., Laurila, T., Lee, H., Levy, I., Mazzoleni, C., Mazzoleni, L., McClure-Begley, A., Mohamad, M., Murovec, M., Navarro-Comas, M., Nicodim, F., Parrish, D., Read, K. A., Reid, N., Ries, L., Saxena, P., Schwab, J. J., Scorgie, Y., Senik, I., Simmonds, P., Sinha, V., Skorokhod, A. I., Spain, G., Spangl, W., Spoor, R., Springston, S. R., Steer, K., Steinbacher, M., Suharguniyawan, E., Torre, P., Trickl, T., Weili, L., Weller, R., Xu, X., Xue, L., Zhiqiang, M.: Tropospheric Ozone Assessment Report, links to Global surface ozone datasetsx. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.876108>, Supplement to: Schultz, MG et al. (2017): Tropospheric Ozone Assessment Report: Database and Metrics

- Data of Global Surface Ozone Observations, *Elementa - Science of the Anthropocene*, 5:58, 26 pp, <https://doi.org/10.1525/elementa.244>, 2017.
- Shirai, T., M. Ishizawa, R. Zhuravlev, A. Ganshin, D. Belikov, M. Saito, T. Oda, V. Valsala, A. J. Gómez-Peláez, R. Langenfelds and S. Maksyutov: A decadal inversion of CO<sub>2</sub> using the Global Eulerian-Lagrangian Coupled Atmospheric model (GELCA): sensitivity to the ground-based observation network, *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, Vol. 69, Iss. 1, 2017.
- Steinbrecht, W., Froidevaux, L., Fuller, R., Wang, R., Anderson, J., Roth, C., Bourassa, A., Degenstein, D., Damadeo, R., Zawodny, J., Frith, S., McPeters, R., Bhartia, P., Wild, J., Long, C., Davis, S., Rosenlof, K., Sofieva, V., Walker, K., Raupoe, N., Rozanov, A., Weber, M., Laeng, A., von Clarmann, T., Stiller, G., Kramarova, N., Godin-Beekmann, S., Leblanc, T., Querel, R., Swart, D., Boyd, I., Hocke, K., Kämpfer, N., Maillard Barras, E., Moreira, L., Nedoluha, G., Vigouroux, C., Blumenstock, T., Schneider, M., García, O., Jones, N., Mahieu, E., Smale, D., Kotkamp, M., Robinson, J., Petropavlovskikh, I., Harris, N., Hassler, B., Hubert, D. and Tummon, F.: An update on ozone profile trends for the period 2000 to 2016, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 10675-10690, <https://doi.org/10.5194/acp-17-10675-2017>, 2017.
- Torres, B., Dubovik, O., Fuertes, D., Schuster, G., Cachorro, V.E., Laponok, T., Goloub, P., Blarel, L., Barreto, A., Mallet, M., Toledano, C. and Tanré, D.: Advanced characterization of aerosol properties from measurements of spectral optical depth using the GRASP algorithm. *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 3743-3781. <https://www.atmos-meas-tech.net/10/3743/2017/>, 2017.
- Tsuruta, A., Aalto, T., Backman, L., Hakkarainen, J., van der Laan-Luijkx, I. T., Krol, M. C., Spahni, R., Houweling, S., Laine, M., Dlugokencky, E., Gómez-Peláez, A. J., van der Schoot, M., Langenfelds, R., Ellul, R., Arduini, J., Apadula, F., Gerbig, C., Feist, D. G., Kivi, R., Yoshida, Y. and Peters, W.: Global methane emission estimates for 2000-2012 from CarbonTracker Europe-CH4 v1.0, *Geosci. Model Dev.*, 10, 1261-1289, doi:10.5194/gmd-10-1261-2017, 2017.
- Wunch, D., Wennberg, P.O., Osterman, G., Fisher, B., Naylor, B., Roehl, C.M., O'Dell, C., Mandrake, L., Viatte, C., Kiel, M., Griffith, D. W. T., Deutscher, N. M., Velasco, V. A., Notholt, J., Warneke, T., Petri, C., De Maziere, M., Sha, M. K., Sussmann, R., Rettinger, M., Pollard, D., Robinson, J., Morino, I., Uchino, O., Hase, F., Blumenstock, T., Feist, D. G., Arnold, S. G., Strong, K., Mendonca, J., Kivi, R., Heikkinen, P., Iraci, L., Podolske, J., Hillyard, P. W., Kawakami, S., Dubey, M. K., Parker, H. A., Sepúlveda, E., García, O. E., Te, Y., Jeseck, P., Gunson, M. R., Crisp, D. and Eldering, A.: Comparisons of the Orbiting Carbon Observatory-2 (OCO-2) XCO<sub>2</sub> measurements with TCCON, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 2209-2238, <https://doi.org/10.5194/amt-10-2209-2017>, 2017.
- Yela, M., Gil-Ojeda, M., Navarro-Comas, M., González-Bartolomé, D., Puentedura, O., Funke, B., Iglesias, J., Rodríguez, S., García, O., Ochoa, H. and Deferrari, G.: Hemispheric asymmetry in stratospheric NO<sub>2</sub> trends, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 13373-13389, <https://doi.org/10.5194/acp-17-13373-2017>, 2017.
- Yuan, Y., Ries, L., Petermeier, H., Steinbacher, M., Gómez-Peláez, A. J., Leuenberger, M. C., Schumacher, M., Trickl, T., Couret, C., Meinhardt, F. and Menzel, A.: Adaptive Baseline Finder, a statistical data selection strategy to identify atmospheric CO<sub>2</sub> baseline levels and its application to European elevated mountain stations, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/amt-2017-316>, in review, 2017.
- Zerefos, C. S., Eleftheratos, K., Kapsomenakis, J., Solomos, S., Inness, A., Balis, D., Redondas, A., Eskes, H., Allaart, M., Amiridis, V., Dahlback, A., De Bock, V., Diémoz, H., Engelmann, R., Eriksen, P., Fioletov, V., Gröbner, J., Heikkilä, A., Petropavlovskikh, I., Jaroslawski, J., Josefsson, W., Karppinen, T., Köhler, U., Meleti, C., Repapis, C., Rimmer, J., Savinykh, V., Shirov, V., Siani, A. M., Smedley, A. R. D., Stanek, M. and Stübi, R.: Detecting volcanic sulfur dioxide plumes in the Northern Hemisphere using the Brewer spectrophotometers, other networks, and satellite observations, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 551-574, doi:10.5194/acp-17-551-2017, 2017.

## 23.2 Presentaciones a conferencias/pósteres

### 2018

- Almansa, A. F., Cuevas, E., Barreto, A., Torres, B. and López-Solano, C. Dust aerosol optical depth (DOD) monitoring with a ZEN-R52 radiometer: An upgraded version of ZEN-R41 prototype. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.
- Azorín-Molina, C., M. Menéndez, T.R. McVicar, A. Acevedo, S.M. Vicente-Serrano, E. Cuevas, L. Minola, G. Zhang, A. Chen, D. Chen: Tendencias de la Velocidad del Viento en Canarias 1948-2014, XI Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología (AEC): El Clima: aire, agua, tierra y fuego, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), 2018, Serie A. Murcia, 1098 pp. ISBN: 978-84-7837-098-6. NIPO (usb): 014-18-008-4. Depósito Legal (usb): M-31443-2018, Cartagena, Octubre 17-19, 2018.
- Barreto, A., E. Cuevas, J. Carrillo, A. Berjón, C. Guirado-Fuentes, Y. Hernández, J. C. Guerra and M. Yela: Saharan Air Layer profiling at the Canary Islands using MPL and radiosondes, 9th International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall, Tenerife (Spain), 22-24 May 2018.
- Basart, S., García-Castrillo, G., Cuevas, E., Goloub, P., Cazorla, A., Alastuey, A., Mortier, A., Benedetti, A. and Terradellas, E.: Towards continuous evaluation of dust profiles in the WMO SDS-WAS. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.
- Berjón, A., A. Barreto, Y. Hernández, E. Cuevas, M. Yela: Lidar signal analysis using AOD at two heights. 9th International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall, Tenerife (Spain), 22-24 May 2018.
- Borsdorff, T., J. aan de Brugh, H. Hu, O. Hasekamp, R. Sussmann, M. Rettinger, F. Hase, J. Gross, M. Schneider, O. E. García, W. Stremme, M. Grutter, D. G. Feist, M. De Maziere, M. Kumar Sha, D. F. Pollard, M. Kiel, G. C. Toon, P. O. Wennberg and J. Landgraf: First carbon monoxide retrieval from TROPOMI's shortwave infrared radiance measurements, European Geosciences Union General Assembly 2018, Vienna (Austria), 8-13 April 2018.
- Cachorro, V., Mateos, D., Toledano, C., Velasco-Merino, C., González, R., Berjón, A., Guirado, C., Román, R., Antuña, J. C., Herrerías, M., Calle, A., de Frutos, Á. M.: Observación atmosférica en zonas polares llevada a cabo por el grupo OAUva, IX Simposio Español de Estudios Polares, Madrid, 5-7 Septiembre 2018.
- Cuevas, E., J.J. Bustos, S. Rodríguez, C. Marrero, E. Reyes, R. D. García, O. E. García, A. Barreto and C. Guirado, Short-term variations of the Saharan Air Layer atmospheric properties over the North Atlantic driven by NAFDI: Summer 2017 case analysis, 9th International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall, Tenerife (Spain), 22-24 May, 2018.
- Cuevas, E.: Izaña "super-site", Expert Meeting on Atmospheric Composition Fiducial Reference Measurements at EUMETSAT HQ, Darmstadt, Germany, 22-23 February 2018.



- Cuevas, E.: Cambio Climático en las Cumbres de Tenerife, I Jornadas de Investigación y Divulgación: Conservación del Matorral de Alta Montaña, Centro de Visitante Telesforo Bravo, La Orotava, Tenerife, Abril 11-12, 2018.
- Cuevas, E.: Izaña “super-site”, EUMETSAT-AEMET Activity Meeting, June 14th, 2018.
- Cuevas, E., A. Barreto, R. Ramos, R. García, F. Almansa, A. J. Berjón and C. Guirado: Last activities and results of the WMOCIMO Testbed for Aerosols and Water Vapor Remote Sensing Instruments (Izaña, Spain), WMO CIMO TECO 2018, Amsterdam, 8-11 October 2018.
- De la Rosa, J. D., Rodríguez, S., García-Álvarez, M. I., Sosa, E., Salvador, A., Sánchez de la Campa, A. M., Márquez, G., Rodríguez-Aller, J. and Gil-Ibarguchi, J. I.: Sr-Nd isotope composition of Saharan dust observed in the North Atlantic free troposphere. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.
- García, R. D., A. Barreto, E. Cuevas, J. Gröbner, O. E. García, A. Gómez-Peláez, P. M. Romero-Campos, A. Redondas, V. E. Cachorro and R. Ramos: Comparison of observed and modeled cloud-free longwave downward radiation (2010-2016) at the high mountain BSRN Izaña station, 15th BSRN Scientific Review and Workshop at CIRES, Boulder CO, USA July, 16-20, 2018.
- García, R. D., E. Cuevas, R. Ramos, V. E. Cachorro and A. Redondas: Status of the Izaña BSRN station in July 2018, 15th BSRN Scientific Review and Workshop at CIRES, Boulder CO, USA July, 16-20, 2018.
- García, R. D., O. E. García, E. Cuevas and J. J. Bustos: Long-term aerosol optical depth (1941-2017) at the Izaña Observatory, 9th International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall at Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.
- García, O. E., M. Schneider, B. Ertl, F. Hase, C. Borger, E. Sepúlveda, T. Blumenstock, U. Raffalski and A. J. Gómez-Peláez: IASI for Surveying Methane and Nitrous Oxide in the Troposphere: MUSICA products and its validation, 14th International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space (IWGGMS-14), Toronto (Canada), 8-10 May, 2018.
- García, O. E., E. Sepúlveda, E. Cuevas, A. J. Gómez-Peláez, M. Schneider, F. Hase, T. Blumenstock, A. Redondas and V. Carreño: Long-term Monitoring of Greenhouse Gases at the Izaña Atmospheric Observatory, 14th International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space (IWGGMS-14), Toronto (Canada), 8-10 May, 2018.
- García, O. E., E. Sepúlveda, J.-A. Morgui, C. Estruch, R. Curcoll, M. Frey, C. Schneider, R. Ramos, C. Torres, S. León, F. Hase, A. Butz, C. Toledano, E. Cuevas, T. Blumenstock, C. Pérez, M. Guevara, J. J. Bustos and V. Carreño: MEGEI-MAD: Monitoring of Greenhouse Gases Concentrations in Madrid, Integrated Global Greenhouse Gas Information System (IG3IS) Symposium, 13-15 November, WMO, Geneva, Switzerland, 2018.
- Guirado-Fuentes, C., Y. Hernández, E. Cuevas: Validation of Calitoo hand-held sun photometer for aerosol characterization under background and dust conditions, 9th International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall, Tenerife (Spain), 22-24 May 2018.
- Hase, F., M. Frey, D. Dubravica, J. Groß, T. Blumenstock, Q. Tu, J. Orphal, A. Dehn, P. Castracane, A. Butz, R. Kleinschek, A. Luther, J. Chen, R. Harig, G. Surawicz, W.R. Simpson, N. Jacobs, M. Grutter, W. Stremme, N. Jones, D. W. Griffith, G. Mengistu Tsidu, K. Shiomi, I. Morino, S. Wofsy, O. García, D. Pollard, M. Dubey, D. Wunch, P. O. Wennberg, M. K. Sha, H. Gadhavi, D. Ene, M. Ramonet, Y. Sun, H. Boesch: COCCON — a framework for operating the EM27/SUN spectrometer, 14th International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space (IWGGMS-14), Toronto (Canada), 8-10 May, 2018.
- Hase, F., M. Frey, D. Dubravica, J. Groß, T. Blumenstock, Q. Tu, J. Orphal, A. Dehn, P. Castracane, A. Butz, R. Kleinschek, A. Luther, J. Chen, R. Harig, G. Surawicz, W. R. Simpson, N. Jacobs, M. Grutter, W. Stremme, N. Jones, D. W. Griffith, G. Mengistu Tsidu, K. Shiomi, I. Morino, S. Wofsy, O. García, D. Pollard, M. Dubey, D. Wunch, P. O. Wennberg, M. K. Sha, H. Gadhavi, D. Ene, M. Ramonet, Y. Sun and H. Boesch: COCCON — a framework for operating the EM27/SUN spectrometer, 2nd Sentinel-5P Validation Team Meeting and 1st Results Workshop, Noordwijk (Netherlands), 5-6 February, 2018.
- Kulawik, S. S., C. O’Dell, G. Osterman, P. Wennberg, D. Wunch, C. Roehl, N. Deutscher, M. Kiel, D. Griffith, V. Velazco, J. Notholt, T. Warneke, C. Petri, M. De Maziere, M. Kumar Sha, R. Sussmann, M. Rettinger, D. Pollard, I. Morino, O. Uchino, F. Hase, D. Feist, K. Strong, R. Kivi, L. Iraci, K. Shuji, M. Dubey, E. Sepúlveda, O. E. García Rodríguez, Y. Te, P. Jeseck, M. Kiel, P. Heikkinen, M. Schneider, S. Wofsy, K. McKain, C. Sweeney, D. Baker, and J. Liu, Characterization of OCO-2 biases and errors for flux estimates, 14th International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space (IWGGMS-14), Toronto (Canada), 8-10 May, 2018.
- León-Luis, S. F., Carreño, V., Redondas, A., Henriques, D., Moniz, L.: Campaña intercomparación Brewer 2017: Calibración del Brewer #102. Acta de las XXXV Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española. León, España, 5-7 Marzo 2018, <https://doi.org/10.30859/ameJrCn35p219>, 2018.
- León-Luis, S. F., Carreño, V., Redondas, A., Santana-Díaz, D., López-Solano, J., Rodríguez-Válido, M.: Centro de Calibración Regional Brewer - Europa (RBCC-E): Estabilidad de las medidas de ozono realizadas en el observatorio Atmosférico de Izaña. Acta de las XXXV Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española. León, España, 5-7 Marzo 2018, <https://doi.org/10.30859/ameJrCn35p213>, 2018.
- López-Solano, J., Redondas, A., Carlund, T., Rodríguez-Franco, J. J., Diémoz, H., León-Luis, S. F., Hernández-Cruz, B., Guirado-Fuentes, C., Kouremeti, N., Gröbner, J., Kazadzis, S., Carreño, V., Berjón, A., Santana-Díaz, D., Rodríguez-Valido, M., De Bock, V., Moreta, J. R., Rimmer, J., Smedley, A. R. D., Boulkelia, L., Jepsen, N., Eriksen, P., Bais, A. F., Shirovov, V., Vilaplana, J. M., Wilson, K. M. and Karppinen, T.: UV Aerosol Optical Depth in the European Brewer Network. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.
- López-Solano, J., Rodríguez, S., Pérez García-Pando, C., Sosa, E., García, M. I., Bustos, J. J., Marrero, C. and Alonso-Pérez, S.: Northern African sources of mineral dust from measurements at the Izaña GAW Observatory. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.
- Milford, C., Cuevas, E., Marrero, C., Bustos, J. J., Torres, C.: Air quality trends in a coastal city, Santa Cruz de Tenerife. 11th International Conference on Air Quality - Science and Application, Barcelona, Spain, 12-16 March 2018.
- Prats, N., González, P., Sanz, R.: Extraordinary lightning episode during 12th and 13th of August 2015 in Canary region, was it the effect of dust aerosols? 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.

- Redondas, A.: NDACC Brewer, Steering committee meeting of the Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (NDACC), WMO Headquarters, Geneva, Switzerland, September 10-13, 2018.
- Rodríguez, S., Lucarelli, F., Nava, S., García, M. I., López-Solano, J., Marrero, C., Cuevas, E., Prats, N.: High variability of dust composition in the Saharan Air Layer. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.
- Sehatkashani, S., E. Cuevas, C. Guirado-Fuentes, M. Rashidzad, G. García-Castrillo, A. Ranjbar: Aerosol characterization using Calitoo hand-held sunphotometer at the District 22 of Tehran, 9th International Workshop on Sand/Duststorms and Associated Dustfall, Tenerife (Spain), 22-24 May 2018.
- Sosa, E., Rodríguez, S., García, M. I., López-Solano, Prats, N.: Assessing the response of a TEOM dichotomous FDMS and BETA monitors to aerosol dust in the Saharan Air Layer. 9th International Workshop on Sand/Dust storms and Associated Dustfall, La Laguna, Tenerife, Spain, 22-24 May 2018.
- Tarasick, D. W., I. E. Galbally, O. R. Cooper, M. G. Schultz, G. Ancellet, T. Leblanc, T. J. Wallington, J. Ziemke, X. Liu, M. Steinbacher, J. Staehelin, C. Vigouroux, J. Hannigan, O. García, G. Foret, P. Zanis, E. Weatherhead, I. Petropavlovskikh, H. Worden, M. Osman, J. Liu, M. Lin, M. Granados-Muñoz, A. M. Thompson, S. J. Oltmans, J. Cuesta, G. Dufour, V. Thouret, B. Hassler and T. Trickl: Tropospheric Ozone Assessment Report: Tropospheric ozone observations — How well do we know tropospheric ozone changes?, SPARC General Assembly 2018, Kyoto (Japan), 1-5 October, 2018.
- Terradellas, E., C. Camino, S. Alonso-Pérez, S. Basart, J. M. Baldasano, E. Cuevas: Distribución espacial y temporal de polvo mineral atmosférico en el Norte de África y Oriente Medio estimada a partir de observaciones de visibilidad horizontal, Acta de las Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española, 32, 8 de julio, 2018.
- 2017**
- Barreto, Á.: Nocturnal aerosol monitoring in Izaña high mountain station with CE318T, Lunar Photometry Workshop, Izaña, Tenerife, 7-8 June 2017.
- Barreto, Á., R. Román, E. Cueva, A. Berjón, A. F. Almansa, C. Toledano, R. González, Y. Hernández, L. Blarel, P. Goloub, C. Guirado, M. Yela: Nocturnal aerosol monitoring using CE318 at Izaña high-mountain Observatory (2011-2017), Lunar Photometry Workshop 2017, Tenerife (Spain), 7-8 June 2017.
- Cachorro, V. E., D. Mateos, M. A. Burgos, Y. S. Bennouna, C. Toledano, R. González, C. Velasco-Merino, C. Guirado, A. Berjón, A. Calle, A. M. De Frutos: Similarities and discrepancies when surface and columnar aerosol data are jointly analysed in a background environment, 5th Iberian Meeting on Aerosol Science and Technology (RICTA 2017), Barcelona (Spain), 3-6 July 2017.
- Cuevas, E.: Cambio climático en Canarias: posibles impactos en la agricultura, Valle Guerra, Foro Innovagro Canarias, Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (ICIA), 22 Septiembre, 2017.
- Cuevas, E.: Evolution of the aerosols-related programs at the Izaña Atmospheric Research Centre (IARC), ACE20: Future North Atlantic Atmospheric Observation Systems. Assessing the legacy of ACE2, Hotel Mencey, Santa Cruz de Tenerife, Spain, 4-6 July 2017.
- Cuevas, E.: Ground Observation, SDS-WAS: Dust observation Side Event, GAW Symposium 10-13 April 2017.
- Cuevas, E., E. Terradellas and S. Nickovic: Sand and Dust Storm Advisory, 10th Session WWRP Scientific Steering Committee (WWRP SSC10), Geneva, WMO Headquarters, 25-26 October 2017.
- García, R. D., E. Cuevas, A. Barreto, V. Cachorro, R. Ramos, C. Guirado, C. Toledano and K. Hoogendijk: Preliminary results of Aerosol Optical Depth and Ångström Exponent at the Izaña Atmospheric Observatory from spectral direct irradiance measured with an EKO MS-711 spectroradiometer, 44th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods, 4-8 September, Barcelona, Spain, 2017.
- García, O. and E. Cuevas: Monitorización de las Concentraciones de GEIs en Ambientes Urbanos: EM27/SUN, Jornada Técnica sobre los servicios de Atmósfera y Clima de Copernicus, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), 27 Noviembre, 2017.
- García, O. E., E. Sepúlveda, M. Schneider, A. Wiegeler, C. Borger, F. Hase, E. Sanromá, Á.-J. Gómez-Peláez, A. Cansado, M. Aullé and S. Barthlott: INMENSE: IASI for Surveying Methane and Nitrous Oxide in the Troposphere, EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Roma, 2-6 October, 2017.
- Goloub, P., C. Toledano, E. Cuevas: WP7: AERONET-Europe, ACTRIS-2 Mid-time Review Meeting, Granada, Spain January 31, 2017.
- Gómez-Peláez, A. J., R. Ramos, V. Gómez-Trueba, E. Cuevas, E. Reyes: «CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and CO with CRDS technique at the Izaña Global GAW station: instrumental tests, developments and first measurement results» presented at “19th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Measurement Techniques (GGMT-2017)”, Dubendorf, Switzerland, August 27-31, 2017.
- Mateos, D., V. Cachorro, C. Toledano, C. Velasco-Merino, M. A. Burgos, R. González, S. Blindheim, M. Gausa, A. Berjón, C. Guirado, A. Calle, A. M. de Frutos: Aerosol radiative effect in the shortwave range for the extreme aerosol events registered with Sun photometry in a pristine subarctic area, NOSA Aerosol Symposium 2017, Lund (Sweden), 20-22 March 2017.
- Rimmer, J. S., A. Redondas, J. Groebner, T. Karprinen, V. de Book, A. Bais: The European COST Action EUBrewNet: Towards consistency in quality control, quality assurance and coordinated operations of the Brewer Instrument, The 10th meeting of the Ozone Research Managers of the Parties to the Vienna Convention, Geneva 28th - 30th March 2017.
- Sanromá, E., O. E. García, F. Hase, M. Schneider, T. Blumenstock, E. Sepúlveda, A. Redondas, M. Navarro-Comas and V. Carreño: Improved Retrieval Strategy for Ozone Monitoring by Ground-Based FTIR Spectrometry, NDACC/IRWG and TCCON Meeting, Paris (France), 29 May-02 June, 2017.
- Sanromá, E., O. E. García, M. Schneider, F. Hase, T. Blumenstock and E. Sepúlveda: Ozone Isotopologue Monitoring from Ground-Based FTIR Spectrometry, NDACC/IRWG and TCCON Meeting, Paris (France), 29 May-02 June, 2017.
- Schulz, M., H. J. Eskes, H. Clark, Y. Christophe, M. Ramonet, S. Basart, A. Benedictow, A.-M. Blechmidt, S. Chabrillat, E. Cuevas, H. Flentje, K. M. Hansen, U. Im, J. Kapsomenakis, B. Langerock, K. Petersen, A. Richter, N. Sudarchikova, V. Thouret, A. Wagner, T. Warneke, C. Zerefos: Validation of the reanalysis for the year 2003, CAMS GA in Warsaw (Poland), May 16, 2017.

- Sepúlveda, E., O.E. García, M. Schneider, T. August, T. Hultberg, C. Clerbaux, J. Hadji-Lazarou, P.-F. Coheur, D. Hurtmans, F. Hase, T. Blumenstock, E. Sanromá, V. Carreño, E. Mahieu, M. De Mazière, C. Vigouroux, D. Griffith, N. Jones, D. Smale, J. Notholt, M. Palm, A.M. De Frutos: Ozone Monitoring Comparison as observed by the satellite-based METOP-IASI and ground-based NDACC FTS, EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Roma, 2-6 October, 2017.
- Sepúlveda, E., O.E. García, M. Schneider, T. August, C. Clerbaux, F. Hase, T. Blumenstock, T. Hultberg, E. Sanromá, V. Carreño, E. Mahieu, M. De Mazière, C. Vigouroux, D. Griffith, N. Jones, D. Smale, J. Notholt, M. Palm and A. M. De Frutos: Ozone total and partial column amounts comparison between satellite-based MetOp-IASI and ground-based NDACC FTIR, NDACC/IRWG and TCCON Meeting, Paris (France), 29 May-02 June, 2017.
- Sepúlveda, E., O.E. García, M. Schneider, F. Hase, T. Blumenstock, and E. Sanromá: The Izaña Site Report, NDACC/IRWG and TCCON Meeting, París (France), 29 May-02 June, 2017.
- Velasco-Merino, C., D. Mateos, C. Toledano, V. Cachorro, R. González, M. A. Burgos, S. Blindheim, M. Gausa, A. Berjón, C. Guirado, A. Calle and A. M. de Frutos: Long-term aerosol characterization in a sub-Arctic area using sun photometer data: columnar optical and microphysical properties, NOSA Aerosol Symposium 2017, Lund (Sweden), 20-22 March 2017.
- Velasco-Merino, C., D. Mateos, C. Toledano, V. Cachorro, R. González, M. A. Burgos, S. Blindheim, M. Gausa, A. Berjón, C. Guirado, A. Calle and A. M. de Frutos: Overview of sun photometer measurements of aerosol radiative properties in a pristine Sub-Arctic area, 5th Iberian Meeting on Aerosol Science and Technology (RICTA 2017), Barcelona (Spain), 3-6 July 2017.
- Velasco-Merino, C., D. Mateos, C. Toledano, V. Cachorro, R. González, M. A. Burgos, S. Blindheim, M. Gausa, A. Berjón, C. Guirado, A. Calle and A. M. de Frutos: 15-year measurements of aerosol optical and microphysical properties in Andenes (69°N, 16°E) site, 44th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods, Barcelona (Spain), 4-8 September 2017.
- e-suite (experiment gp1p) for the period November 2016 - May 2017, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2443544157, 2018.
- Eskes, H., Wagner, A., Schulz, M., Christophe, Y., Ramonet, M., Basart, S., Benedictow, A., Bennouna, Y., Blechschmidt, A.-M., Chabrilat, S., Clark, H., Cuevas, E., Flentje, H., Hansen, K. M., Im, U., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Petersen, K., Richter, A., Sudarchikova, N., Thouret, V., Warneke, T., Zerefos, C.: Validation report of the CAMS near real time global atmospheric composition service December 2017 - February 2018, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2443544144, 2018.
- Eskes, H., Wagner, A., Schulz, M., Christophe, Y., Ramonet, M., Basart, S., Benedictow, A., Bennouna, Y., Blechschmidt, A.-M., Chabrilat, S., Clark, H., Cuevas, E., Flentje, H., Hansen, K. M., Im, U., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Petersen, K., Richter, A., Sudarchikova, N., Thouret, V., Warneke, T., Zerefos, C.: Validation report of the CAMS near real-time global atmospheric composition service. Period September-November 2017, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2443486608, 2018.
- García, O.E., Sepúlveda, E., Schneider, M., Hase, F., Gómez-Peláez, A. J., Reyes, E., del Campo, R., Cansado, A., Aullé, M., Sanromá, E.: Informe Intermedio de Proyecto I+D+i "IASI para Sondear el Metano y Óxido Nitroso en la Troposfera", Agencia Estatal de Investigación, Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, Septiembre, 2018.
- Sudarchikova, N., Basart, S., Katragkou, E., Petersen, K., Akritidis, S., Kartsios, S., Zanis, P., Melas, D., Chabrilat, S., Christophe, Y., Ramonet, M., Bennouna, Y., Clark, H., Wagner, A., Schulz, M., Blechschmidt, A.-M., Cuevas, E., Flentje, H., Hansen, K. M., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Warneke, T., Eskes, H.: Compendium of case studies for the period 2015-2018, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2443544159, 2018.

## 2017

### 23.3 Artículos e informes no revisados por pares

#### 2018

- Basart, S., Benedictow, A., Bennouna, Y., Blechschmidt, A.-M., Chabrilat, S., Clark, H., Cuevas, E., Flentje, H., Hansen, K. M., Im, U., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Petersen, K., Richter, A., Sudarchikova, N., Thouret, V., Warneke, T., Zerefos, C.: Validation report of the CAMS nearreal time global atmospheric composition service March - May 2018, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2443544147, 2018.
- Basart, S., Benedictow, A., Bennouna, Y., Blechschmidt, A.-M., Chabrilat, S., Christophe, Y., Clark, H., Cuevas, E., Eskes, H., Hansen, K. M., Im, U., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Petersen, K., Schulz, M., Wagner, A., Zerefos, C.: Addendum to: Upgrade verification note for the CAMS near-real time global atmospheric composition service Evaluation of the esuite experiment gu42, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2443544151, 2018.
- Eskes, H., Antonakaki, T., Basart, S., Benedictow, A., Blechschmidt, A.-M., Chabrilat, S., Christophe, Y., Clark, H., Cuevas, E., Hansen, K. M., Im, U., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Petersen, K., Richter, A., Schulz, M., Sudarchikova, N., Thouret, V., Wagner, A., Zerefos, C.: Upgrade verification note for the CAMS near real time global atmospheric composition service Evaluation of the
- Antonakaki, T., Basart, S., Benedictow, A., Blechschmidt, A.-M., Chabrilat, S., Clark, H., Cuevas, E., Eskes, H. J., Hansen, K. M., Im, U., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Petersen, K., Richter, A., Schulz, M., Sudarchikova, N., Thouret, V., Wagner, A., Zerefos, C.: Upgrade verification note for the CAMS near-real time global atmospheric composition service, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2394630730, 2017.
- Antonakaki, T., Basart, S., Benedictow, A., Blechschmidt, A.-M., Chabrilat, S., Christophe, Y., Clark, H., Cuevas, E., Eskes, H. J., Hansen, K. M., Im, U., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Ramonet, M., Richter, A., Schulz, M., Sudarchikova, N., Wagner, A., Warneke, T., Zerefos, C., Evaluation of the CAMS 2010 reanalysis test run experiment gls8, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2394630729, 2017.
- Basart, S., Blechschmidt, A.-M., Chabrilat, S., Clark, H., Cuevas, E., Eskes, H. J., Flentje, H., Hansen, K. M., Kapsomenakis, J., Katragkou, E., Langerock, B., Petersen, K., Ramonet, M., Richter, A., Schulz, M., Wagner, A., Zerefos, C.: Data Mining: potential new observations for the CAMS validation activity, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2394630726, 2017.
- Cuevas, E., Milford, C., Bustos, J.J., del Campo-Hernández, R., García, O.E., García, R.D., Gómez-Peláez, A. J., Guirado-Fuentes, C., Marrero, C., Prats, N., Ramos, R., Redondas, A., Reyes, E., Rodríguez, S., Romero-Campos, P. M., Schneider, M., Belmonte, J., Yela, M., Almansa, F., Barreto, A., López-Solano, C., Basart, S., Terradellas, E., Afonso, S., Bayo, C., Berjón, A., Bethencourt, J., Carreño, V., Castro, N. J., Cruz, A. M., Damas, M.,



De Ory-Ajamil, F., García, M. I., Gómez-Trueba, V., González, Y., Hernández, C., Hernández, Y., Hernández-Cruz, B., Jover, M., León-Luis, S. F., López-Fernández, R., López-Solano, J., Rodríguez, E., Rodríguez-Franco, J. J., Rodríguez-Valido, M., Sálamo, C., Sanromá, E., Santana, D., Santo Tomás, F., Sepúlveda, E., Sierra, M. and Sosa, E.: Izaña Atmospheric Research Center Activity Report 2015-2016. (Eds. Cuevas, E., Milford, C. and Tarasova, O.), State Meteorological Agency (AEMET), Madrid, Spain and World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, NIPO: 014-17-012-9, WMO/GAW Report No. 236, 2017.

Douros, J., Basart, S., Benedictow, A., Blechschmidt, A.-M., Chabrilat, S., Christophe, Y., Clark, H., Cuevas, E., Eskes, H. J., Flentje, H., Hansen, K. M., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Petersen, K., Ramonet, M., Richter, A., Schulz, M., Wagner, A., Warneke, T., Zerefos, C.: Observations characterization and validation methods document, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2394630727, 2017.

Eskes, H., Clark, H., Schulz, M., Christophe, Y., Ramonet, M., Basart, S., Benedictow, A., Blechschmidt, A.-M., Chabrilat, S., Cuevas, E., Flentje, H., Hansen, K. M., Im, U., Jossoud, O., Kapsomenakis, J., Langerock, B., Petersen, K., Richter, A., Sudarchikova, N., Thouret, V., Wagner, A., Warneke, T., Zerefos, C.: Validation report for the CAMS global reanalyses of aerosols and reactive trace gases, year 2003, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, 2394630728, 2017.

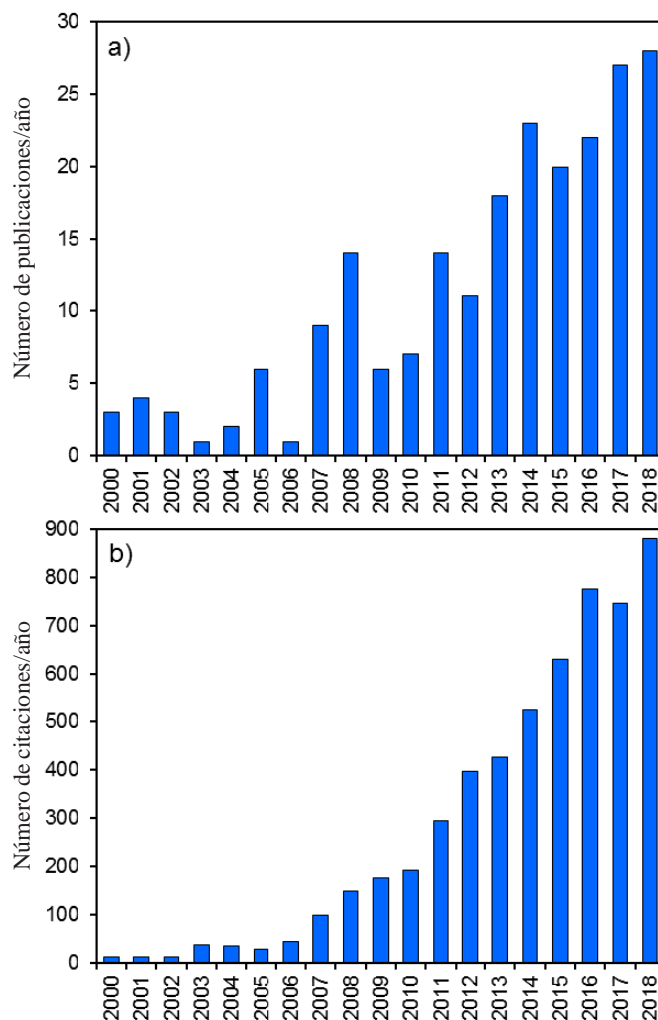
Eskes, H. J., A. Wagner, M. Schulz, Y. Christophe, M. Ramonet, S. Basart, A. Benedictow, A.-M. Blehschmidt, S. Chabrilat, H. Clarck, E. Cuevas, H. Flentje, K. M. Hansen, U. Im, J. Kapsomenakis, B. Langerock, K. Petersen, A. Richter, N. Sudarchikova, V. Thouret, T. Warneke, C. Zerefos: Validation Report of the CAMS Near-Real Time Global Atmospheric Composition Service: December 2016 - February 2017, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, CAMS84\_2015SC2\_D84.1.1.7\_2017DJF\_v1.pdf, May 2017.

Eskes, H. J., A. Wagner, M. Schulz, Y. Christophe, M. Ramonet, S. Basart, A. Benedictow, A.-M. Blechschmidt, S. Chabrilat, H. Clark, E. Cuevas, H. Flentje, K. M. Hansen, U. Im, J. Kapsomenakis, B. Langerock, A. Richter, N. Sudarchikova, V. Thouret, T. Warneke, C. Zerefos: Validation Report of the CAMS Near-Real-Time Global Atmospheric Composition Service: September-November 2016, Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) Report, CAMS84\_2015SC2\_D84.1.1.6\_2016SON\_v1.pdf, February 2017.

Romero-Campos, P. M., Cuevas-Agulló, E., Kazadzis, S., Kouremeti, N., García, R. D., Guirado-Fuentes, C.: Análisis de la trazabilidad en los valores del AOD obtenidos a partir de las medidas de las redes AERONET-CIMEL y GAW-PFR durante el periodo 2005-2015 en el Observatorio Atmosférico de Izaña, Nota técnica de AEMET 23, AEMET. Publicaciones en línea, <http://hdl.handle.net/20.500.11765/7572>, 2017.

## 23.4 Artículos revisados por pares (2000-2018)

En la figura 23.1 se muestran los números anuales de artículos revisados por pares y de citaciones desde el año 2000. El índice h actual del CIAI es 42, y sus publicaciones se han citado 6353 veces en 4605 artículos.



**Figura 23.1. Centro de Investigación Atmosférica de Izaña:**  
**a) número de artículos revisados por pares cada año y**  
**b) citaciones por año.**

## 24 Tesis doctorales

En esta sección se describen brevemente las tesis doctorales que han sido supervisadas y codirigidas por investigadores del CIAI durante el periodo 2017-2018.

María Isabel García Álvarez defendió su tesis doctoral titulada «Origen de los aerosoles atmosféricos transportados a través de la troposfera libre del Atlántico Norte» el 20 de julio de 2017 en el Observatorio Atmosférico de Izaña. La tesis fue dirigida por el Dr. Sergio Rodríguez (CIAI, AEMET), el Dr. Andrés Alastuey (Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, CSIC) y el Dr. Barend Van Drooge (Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, CSIC). El tutor fue el Dr. Luis R. Galindo Martín (Universidad de La Laguna).



**Figura 24.1.** De izquierda a derecha: el Dr. Juan Carlos Guerra (Universidad de La Laguna), la Dra. Celia Alves (Universidad de Aveiro), la Dra. M. Isabel García Álvarez y la Dra. Begoña Artíñano (CIEMAT) tras la defensa del doctorado en el Observatorio Atmosférico de Izaña el 20 de julio de 2017.

La Dra. María Isabel García Álvarez fue distinguida con la máxima calificación *Excelente Cum Laude* por el tribunal de expertos examinadores integrado por la Dra. Begoña Artíñano (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, CIEMAT), la Dra. Celia Alves (Universidad de Aveiro) y el Dr. Juan Carlos Guerra (Universidad de La Laguna).

Este trabajo de tesis doctoral se centró en el origen de los aerosoles atmosféricos en la troposfera libre del Atlántico Norte a partir de mediciones llevadas a cabo en el Observatorio de Izaña. El estudio se centró en tres corrientes de aire:

1) Los vientos del oeste de la troposfera libre, que transportan los aerosoles envejecidos emitidos en América del Norte, incluidos los sulfatos vinculados a las emisiones de las centrales eléctricas de carbón, el polvo agrícola de las Altas Llanuras y la carbonilla emitida en las grandes áreas urbanas.

2) La capa de aire sahariana, donde el polvo suele mezclarse con algunos aerosoles orgánicos cuyo origen se ha relacionado con la vegetación (tanto aerosoles orgánicos secundarios como detritos) y con algunos compuestos antropogénicos (incluidos los lubricantes de aceite).

3) Vientos ascendentes que soplan en lugares montañosos por encima de Tenerife, en los que se ha observado que la formación de nuevas partículas se produce alrededor del 30 % de los días del año, vinculadas por un lado a la fotooxidación del dióxido de azufre que emiten barcos y plantas energéticas y de refinación de petróleo, y por otro, a diversos compuestos emitidos por la vegetación.

La tesis puede descargarse desde el siguiente enlace:  
<https://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/9458>

\*\* \*\* \*\* \*\* \*\*

Judit Carrillo Pérez defendió su tesis doctoral titulada «Estructura termodinámica de la troposfera subtropical en el Atlántico Norte» el 12 de septiembre de 2017 en la Universidad de La Laguna. La tesis fue dirigida por el Dr. Juan Carlos Guerra (Universidad de La Laguna) y el Dr. Emilio Cuevas (CIAI, AEMET).



**Figura 24.2.** De izquierda a derecha: el Dr. Juan Carlos Guerra (Universidad de La Laguna), el Dr. José Luis Martín Esquivel (Parque Nacional del Teide), la Dra. Judit Carrillo Pérez, la Dra. Silvia Alonso Pérez (Universidad Europea de Canarias) y el Dr. Emilio Cuevas (CIAI, AEMET) tras la defensa del doctorado en la Universidad de La Laguna el 12 de septiembre de 2017.

La Dra. Judit Carrillo Pérez fue distinguida con la máxima calificación *Excelente Cum Laude* por el tribunal de expertos examinadores integrado por el Dr. José Luis Martín Esquivel (Parque Nacional del Teide), la Dra. Silvia Alonso Pérez (Universidad Europea de Canarias) y el Dr. Juan Carlos Guerra (Universidad de La Laguna).

La tesis puede descargarse desde el siguiente enlace:  
<https://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/9551>

\*\* \*\* \*\* \*\* \*\*

Carmen Yballa Hernández Pérez defendió su tesis doctoral titulada «Caracterización de la estructura vertical de los aerosoles sobre la región subtropical oriental del Atlántico Norte» el 19 de septiembre de 2017 en la Universidad de La Laguna. Este trabajo se desarrolló en el Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (AEMET) y fue supervisado por la Dra. África Barreto (Cimel Electronique, Francia), el Dr. Alberto Berjón (Universidad de Valladolid) y el Dr. Manuel Arbelo (Universidad de La Laguna).



**Figura 24.3. De izquierda a derecha: la Dra. África Barreto (supervisora), el Dr. Francisco Javier Expósito (presidente del comité de evaluación de la tesis), la Dra. Rosa García (miembro del comité de evaluación de la tesis), la Dra. Yballa Hernández, el Dr. Manuel Arbelo (supervisor), el Dr. Alberto Berjón (supervisor) y la Dra. María José Granados (secretaria de la comisión de evaluación de la tesis) tras la defensa del doctorado en la Universidad de La Laguna, el 19 de septiembre de 2017.**

La Dra. Carmen Yballa Hernández Pérez fue distinguida con la máxima calificación *Excelente Cum Laude* por el tribunal de expertos examinadores integrado por el Dr. Francisco Javier Expósito González (Universidad de La Laguna), la Dra. María José Granados Muñoz (Universidad Politécnica de Cataluña) y la Dra. Rosa Delia García Cabrera (Air Liquide España).

El objetivo principal de esta tesis fue la caracterización de los aerosoles atmosféricos en la región subtropical oriental del Atlántico Norte, utilizando la técnica lidar y la fotometría solar. Para la inversión de la ecuación del lidar se ha aplicado la metodología de inversión a una y a dos capas, siendo esta última novedosa dentro de la región de estudio, que se divide en dos capas: la capa límite marina y la troposfera libre, separadas por la inversión térmica asociada a los vientos alisios.

Para la realización de este trabajo se ha utilizado una serie de datos de casi una década, que ponen de relieve la calidad de las estaciones de medición, las condiciones atmosféricas favorables, así como el trabajo realizado en el funcionamiento de los instrumentos.

En este trabajo, también se detectaron y analizaron una serie de capas de aerosoles en la troposfera superior y la estratosfera baja utilizando la técnica lidar. La metodología de transmitancia

de inversión de la ecuación del lidar se combinó con herramientas tales como retrotrayectorias (para determinar el origen de las masas de aire), imágenes MODIS, NAAPS y CALIOP. Se distinguieron cuatro casos de estudio: uno de origen volcánico (volcán Nabro, en Eritrea) y tres incendios (en los Estados Unidos y Canadá). Cabría destacar que el estudio de la erupción del volcán Nabro realizado en la tesis abarca un intervalo de tiempo de aproximadamente tres meses, lo que lo convierte en el estudio más largo realizado hasta el momento de ese evento. El comité de evaluación de la tesis destacó el gran interés científico de la misma, no solo por el área estratégica de estudio sino también por la base de datos del lidar de nueve años.

La tesis puede descargarse desde el siguiente enlace:  
[https://izana.aemet.es/wp-content/publications/Tesis\\_Yballa\\_Hdez.pdf](https://izana.aemet.es/wp-content/publications/Tesis_Yballa_Hdez.pdf)

\*\* \* \* \* \* \*\*

Ángel J. Gómez Peláez defendió con éxito su tesis doctoral titulada «Medida y transporte de gases de efecto invernadero atmosféricos, monóxido de carbono y polvo sahariano, con especial énfasis en la troposfera libre del Atlántico noreste subtropical» el 4 de diciembre de 2018 en la Universidad de Granada. La tesis fue dirigida por el Dr. Emilio Cuevas (CIAI, AEMET) y el profesor Fernando Moreno Insertis (Instituto de Astrofísica de Canarias, Universidad de La Laguna). El tutor académico fue el Dr. Francisco José Olmo Reyes (Universidad de Granada).

El Dr. Ángel J. Gómez Peláez fue distinguido con la máxima calificación *Excelente Cum Laude* por el tribunal de la tesis integrado por el Dr. Arturo Quirantes (Universidad de Granada), la Dra. Victoria Cachorro (Universidad de Valladolid), la Dra. Yolanda Luna (AEMET), el Dr. Manuel Arbelo (Universidad de La Laguna) y la Dra. Inmaculada Foyo (Universidad de Granada).



**Figura 24.4. De izquierda a derecha: el Dr. Emilio Cuevas (CIAI, AEMET), la Dra. Victoria Cachorro (Universidad de Valladolid), el Dr. Arturo Quirantes (Universidad de Granada), la Dra. Yolanda Luna (AEMET), el Dr. Ángel Gómez (AEMET), el Dr. Manuel Arbelo (Universidad de La Laguna), la Dra. Inmaculada Foyo (Universidad de Granada) y el Dr. Fernando Moreno (Universidad de La Laguna) tras la defensa del doctorado en la Universidad de Granada, el 4 de diciembre de 2018.**

La tesis puede descargarse desde el siguiente enlace:  
<https://digibug.ugr.es/handle/10481/54412>

\*\* \* \* \* \* \*\*



## 24.1 Tesis doctorales en curso

Las tesis que actualmente se encuentran en marcha en el Centro de Investigación Atmosférica de Izaña son:

1. Fernando Almansa: «Detección de aerosoles atmosféricos mediante la medición de la radiación solar dispersa y la emisión en el rango espectral térmico infrarrojo», Universidad de Valladolid. Directores de tesis: Dr. Emilio Cuevas (CIAI, AEMET) y profesor Dr. Ángel de Frutos (Universidad de Valladolid).
2. Niobe Peinado: «Validación de las recuperaciones de datos de ozono del IASI con mediciones sobre el terreno y otros datos de satélite», Universidad de Valencia. Directores de tesis: Prof. Ernesto López Baeza (Universidad of Valencia), Dr. Xabier Calbet (EUMETSAT) y Dra. Omaira García (CIAI, AEMET).

## 25 Lista de proyectos científicos

Tabla 25.1. Lista de proyectos científicos llevados a cabo en el CIAI durante el periodo 2017-2018.

Título del proyecto	Duración	Organismo financiador	Web del proyecto	Investigador principal/contacto
Medida de Gases de Efecto Invernadero en Ambientes Urbanos (MEGEI)	En marcha desde 2018	Agencia Estatal de Meteorología	—	IP (CIAI-AEMET): Dra. Omaira García
MOisture Transport and Isotopologues of water Vapour (MOTIV) <i>(Transporte de humedad e isótopos del vapor de agua)</i>	2017-2020	Deutsche Forschungsgemeinschaft (Sociedad Alemana de Investigación) SCHN 1126/2-1	—	IP (KIT): Dr. Matthias Schneider IP (CIAI-AEMET): Dra. Omaira García
Equipment for the monitoring and research of the atmospheric parameters and components that modulate climate change, at the Izaña Global GAW station (MICA) <i>(Equipamiento para la monitorización e investigación en la estación global VAG de Izaña de los parámetros y componentes atmosféricos que modulan el cambio climático)</i>	2018-2019	Ministerio Español de Economía, Industria y Competitividad	—	IP (CIAI-AEMET): Dr. Emilio Cuevas
Aerosols, Clouds and Trace gases Preparatory Phase Project (ACTRIS PPP) <i>(Aerosoles, nubes y gases traza; proyecto en fase preparatoria)</i>	2017-2019	H2020-INFRADEV-2016-2017 (H2020)	<a href="https://www.actris.eu/Projects/ACTRISPPP(2017-2019).aspx">https://www.actris.eu/Projects/ACTRISPPP(2017-2019).aspx</a>	IP (FMI): Dra. Sanna Sorvari IP (CIAI-AEMET): Dra. Natalia Prats
IASI para sondear el Metano y Óxido Nitroso en la Troposfera (INMENSE)	2017-2019	Ministerio Español de Economía, Industria y Competitividad CGL2016-80688-P	—	IP (CIAI-AEMET): Dra. Omaira García
Multidecadal variability and trends of aerosols properties in the North Atlantic (AEROATLAN) <i>(Variabilidad multidecenal y tendencias de las propiedades de los aerosoles en el Atlántico Norte)</i>	2016-2018 (extensión 2019)	Ministerio Español de Economía y Competitividad	<a href="http://aeroatlan.aemet.es">http://aeroatlan.aemet.es</a>	IP (CIAI-AEMET): Dr. Sergio Rodríguez
Aerosols, Clouds, and Trace gases Research InfraStructure (ACTRIS-2) <i>(Infraestructura de investigación en aerosoles, nubes y gases traza)</i>	2015-2019	H2020-INFRAIA-2014-2015 (H2020)	<a href="https://www.actris.eu/">https://www.actris.eu/</a>	IP (CNR-IMAA): Dra. Gelsomina Pappalardo IP (CIAI-AEMET): Dr. Emilio Cuevas
Equipamiento para la Monitorización e Investigación en la estación Global VAG de Izaña (Tenerife) de componentes atmosféricos que provocan y modulan el cambio climático	2016-2017	Ministerio Español de Economía y Competitividad	—	IP (CIAI-AEMET): Dr. Emilio Cuevas
Traceability of the atmospheric total column ozone (ATMOZ) <i>(Trazabilidad de la columna de ozono atmosférico total)</i>	2014-2017	EURAMET/EMRP	<a href="http://projects.pmodwrc.ch/atmoz">http://projects.pmodwrc.ch/atmoz</a>	IP (CRM): Dr. Julian Gröbner IP (CIAI-AEMET): Alberto Redondas

**Tabla 25.1 (continuación). Lista de proyectos científicos llevados a cabo en el CIAI durante el periodo 2017-2018.**

Título del proyecto	Duración	Organismo financiador	Web del proyecto	Investigador principal/contacto
EarthCare Ground-based Spectrometer Validation Network (Pandonia network) (EGB-SVN) <i>(Red de validación con espectrofotómetros terrestres de los productos de EarthCare) (red Pandonia)</i>	2014-2017	Agencia Espacial Europea/LuftBlick	<a href="http://pandonia.net">http://pandonia.net</a>	IP (ESA-LuftBlick): Dr. Alexander Cede IP (CIAI-AEMET): Alberto Redondas
Validation of IASI Level 2 products (VALIASI) <i>(Validación de productos de IASI de nivel 2)</i>	2015-2017	EUMETSAT	—	IP (CIAI-AEMET): Dra. Omaira García
SDS-África	En marcha desde 2007	Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo	—	IP (CIAI-AEMET): Dr. Emilio Cuevas
VAG-Sahara	En marcha desde 2007	Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo	—	IP (CIAI-AEMET): Alberto Redondas

Consulte la sección 28 para obtener una definición de los acrónimos utilizados en la tabla anterior.



## 26 Lista de las principales redes, programas e iniciativas nacionales e internacionales

El Centro de Investigación Atmosférica de Izaña participa en las siguientes redes, programas e iniciativas nacionales e internacionales:

<b>ACTRIS</b>	Aerosols, Clouds, and Trace gases Research InfraStructure Network (Red de infraestructuras de investigación en aerosoles, nubes y gases traza)
<b>AERONET</b>	AERosol RObotic NETwork (Red Robótica de Aerosoles)
<b>BSRN</b>	Baseline Surface Radiation Network (Red de referencia para la medición de radiaciones en superficie)
<b>CarbonTracker</b>	Iniciativa de seguimiento del carbono: sistema de medición y modelización del CO <sub>2</sub> desarrollado por la NOAA para realizar un seguimiento de las fuentes y sumideros de dióxido de carbono en todo el mundo
<b>CarbonTracker Europe</b>	
<b>CMDGEI</b>	Centro Mundial de Datos sobre Gases de Efecto Invernadero de la VAG de la OMM (WMO GAW World Data Centre for Greenhouse Gases, WDCGG)
<b>COCCON</b>	Collaborative Carbon Column Observing Network (Red colaborativa de observación de columnas de carbono)
<b>EAN</b>	European Aeroallergen Network (Red Europea de Aeroalérgenos)
<b>EARLINET</b>	European Aerosol Research Lidar Network (Red Europea Lidar de Investigación sobre Aerosoles)
<b>E-GVAP</b>	EUMETNET GPS water vapour Programme (Programa de EUMETNET de medición de vapor de agua con tecnología GPS)
<b>EPN</b>	EUREF Permanent Network (Red permanente de EUREF)
<b>EUBREWNET</b>	European Brewer Network (Red europea de espectrofotómetros Brewer)
<b>GEOMON</b>	Global Earth Observation and Monitoring of the Atmosphere (Observación global de la Tierra y seguimiento de la atmósfera)
<b>GLOBALVIEW-CO2</b>	
<b>GLOBALVIEW-CH4</b>	
<b>GLOBALVIEW-CO</b>	
<b>GLOBALVIEW-CO2C13</b>	
<b>GURME</b>	WMO GAW Urban Research Meteorology and Environment project (Proyecto de Investigación de la VAG de la OMM sobre Meteorología y Medioambiente Urbanos)
<b>ICOS</b>	Integrated Carbon Observation System (Sistema de observación integrada del carbono)
<b>LOTUS</b>	Long-term Ozone Trends and Uncertainties in the Stratosphere (Tendencias e incertidumbres a largo plazo del ozono en la estratosfera)
<b>MACC</b>	Monitoring Atmospheric Composition and Climate (Vigilancia de la composición atmosférica y el clima)
<b>MPLNet</b>	Micro-Pulse Lidar NETwork (Red lidares micropulsados)
<b>NDACC</b>	Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (Red para la detección de cambios en la composición de la atmósfera)
<b>PGN</b>	Pandonia Global Network (Red global Pandonia)
<b>PHOTONS</b>	PHOTométrie pour le Traitement Opérationnel de Normalisation Satellitaire (Fotometría para el tratamiento operativo de la normalización satelital)

<b>RBCC-E</b>	Regional Brewer Calibration Center for Europe (Centro Regional de Calibración Brewer para Europa)
<b>REA</b>	Red Española de Aerobiología (Spanish Aerobiology Network)
<b>Red cooperativa de muestreo atmosférico del CCGG de la GMD/ESRL/NOAA</b>	(NOAA/ESRL/GMD CCGG Cooperative Air Sampling Network)
<b>REDMAAS</b>	Red Española de DMA Ambientales (Spanish Network of Environmental DMAs )
<b>SDS-WAS</b>	WMO Sand and Dust Storm Warning, Advisory and Assessment System (Sistema de evaluación y asesoramiento de la OMM para avisos de tormentas de polvo y arena)
<b>SMOC</b>	Sistema Mundial de Observación del Clima (Global Climate Observing System, GCOS)
<b>SPALINET</b>	Spanish and Portuguese Aerosol Lidar Network (Red hispano-portuguesa de lidares de aerosoles)
<b>SPARC</b>	Stratosphere-troposphere Processes And their Role in Climate (Procesos Estratosféricos y su función en el Clima)
<b>TCCON</b>	Total Carbon Column Observing Network (Red de observación de la columna total de carbono)
<b>TOAR</b>	Tropospheric Ozone Assessment Report (Informe de evaluación del ozono troposférico)
<b>VAG</b>	Programa de Vigilancia de la Atmósfera Global de la OMM (WMO Global Atmosphere Watch, GAW)
<b>WCCAP</b>	World Calibration Centre for Aerosol Physics (Centro Mundial de Calibración para Física de Aerosoles)
<b>WDCRG</b>	WMO GAW World Data Center for Reactive Gases (Centro Mundial de Datos sobre Gases Reactivos)
<b>WOUDC</b>	World Ozone and Ultraviolet Data Centre (Centro mundial de datos sobre el ozono y la radiación ultravioleta)
<b>WRC-WCC-UV</b>	World Radiation Centre-World Calibration Center-Ultraviolet Section (Sección de radiación ultravioleta del Centro Mundial de Calibración del Centro Radiométrico Mundial)
<b>WRC-WORCC</b>	World Radiation Centre-World Optical Depth Research and Calibration Cente (Centro mundial de investigación y calibración del espesor óptico del Centro Radiométrico Mundial)
<b>WRDC WMO</b>	World Radiation Data Centre (Centro Mundial de Datos sobre la Radiación)

## 27 Personal

Personal investigador			
Nombre	Puesto	Correo electrónico	Página web personal
Dr. Emilio Cuevas Agulló	Director del Centro de Investigación Atmosférica de Izaña	ecuevasa@aemet.es	ResearchGate Google Scholar
Juan J. de Bustos Seguela	Programa de meteorología Gestor de McIdas y Eumetcast	jbustoss@aemet.es	ResearchGate
Dra. Omaira E. García Rodríguez	Jefa del programa de FTIR	ogarciar@aemet.es	ResearchGate Google Scholar
Dr. Ángel J. Gómez Peláez <sup>a</sup>	Ex jefe del programa de gases de efecto invernadero y ciclo del carbono	agomezp@aemet.es	ResearchGate Google Scholar
Dra. Yballa Hernández Pérez <sup>a</sup>	Ceilómetro lidar	chernandezp@aemet.es	
Carlos L. Marrero de la Santa Cruz	Jefe del programa de meteorología	cmarrerod@aemet.es	
Pedro Pablo Rivas Soriano <sup>b</sup>	Programa de gases de efecto invernadero y ciclo del carbono	privass@aemet.es	
Dra. Natalia Prats Porta	Jefa del programa de observación de aerosoles <i>in situ</i>	npratsp@aemet.es	ResearchGate
Alberto Redondas Marrero	Jefe del programa de ozono y radiación UV	aredondasm@aemet.es	ResearchGate Google Scholar
Pedro M. Romero Campos	Jefe del programa de radiación y vapor de agua	promeroc@aemet.es	
Dr. Sergio Rodríguez González <sup>a</sup>	Ex jefe del programa de observación de aerosoles <i>in situ</i>	srodriguezg@aemet.es	ResearchGate Google Scholar
Elba Rodríguez Jiménez <sup>a</sup>	Programa de gases reactivos	erodriguezj@aemet.es	
Dra. Esther Sanromá Santos <sup>a</sup>	Programa de FTIR	msanromar@aemet.es	ResearchGate
Dr. Eliezer Sepúlveda	Programa de FTIR	esepulvedah@aemet.es	ResearchGate
Dra. Elisa Sosa Trujillo <sup>a</sup>	Programa de observación de aerosoles <i>in situ</i>	esosat@aemet.es	
Carlos J. Torres García <sup>b</sup>	Jefe del programa de gases reactivos y ozonosondas	ctorresg@aemet.es	

<sup>a</sup> Dejó el CIAI durante el periodo 2017-2018

<sup>b</sup> Se incorporó al CIAI durante el periodo 2017-2019



Personal investigador de otras instituciones				
Nombre	Afiliación	Programa	Correo electrónico	Página web personal
Antonio F. Almansa Rodríguez	Cimel/UVA	Desarrollo de espectrómetros UV-Vis de matriz de fotodiodos	Fernando@sieltec.es	
Dra. África Barreto	Cimel/UVA	Desarrollos de Cimel lunares, lidar	africavb@gmail.com	ResearchGate
Dr. Alberto Berjón Rodríguez	Tragsatec	Programa de ozono y radiación UV Programa de aerosoles en columna	aberjon@tragsa.es	ResearchGate Google Scholar
Dra. Isabel García Álvarez <sup>a</sup>	ULL	Programa de observación de aerosoles <i>in situ</i>	mig.aerosol@aemet.es	
Dra. Rosa D. García Cabrera	Air Liquide/ UVA	BSRN, modelización de la radiación	rosa@goa.uva.es	ResearchGate Google Scholar
Vanessa Gómez Trueba	Air Liquide	Programa de gases de efecto invernadero	vanessa.gomez@airliquide.com	
Dra. Carmen Guirado Fuentes <sup>a</sup>	UVA	Proyecto ACTRIS	carmenf@goa.uva.es	ResearchGate Google Scholar
Bentorey Hernández Cruz <sup>a</sup>	FGULL	Programa de ozono y radiación UV	bhernandez@fg.ull.es	
Dr. Javier López Solano	Tragsatec	Programa de ozono y radiación UV Banco de pruebas de la CIMO	jlopez15@tragsa.es	ResearchGate
Dra. Celia Milford		Programa de observación de aerosoles <i>in situ</i>	cmilford2@gmail.com	ResearchGate
Daniel Santana	Sieltec/ LuftBlick	Programa de ozono y radiación UV	daniel.santana@luftblick.at	

<sup>a</sup> Dejó el CIAI durante el periodo 2017-2019

Personal técnico			
Nombre	Puesto	Correo electrónico	Página web
Sergio Afonso Gómez	Observador meteorológico / técnico VAG	safonsog@aemet.es	
Concepción Bayo Pérez	Observadora meteorológica / técnica VAG	cbayop@aemet.es	
Virgilio Carreño Corbella	Observador meteorológico/técnico VAG	vcarrenoc@aemet.es	
Néstor J. Castro Quintero	Especialista en TI	ncastroq@aemet.es	
Antonio M. Cruz Martín	Especialista en TI	acruzm@aemet.es	
Dr. Fernando de Ory Ajamil <sup>a</sup>	Observador meteorológico / técnico VAG	fdeorya@aemet.es	
Cándida Hernández Hernández	Observadora meteorológica / técnica VAG	chernandezh@aemet.es	
Dr. Sergio León Luis	Técnico de instrumentación científica	sleonl@aemet.es	
Rocío López Fernández	Especialista en TI	rlopezf@aemet.es	
Julián Pérez de la Puerta <sup>b</sup>	Observador meteorológico / técnico VAG	jperezd@aemet.es	
Ramón Ramos López	Jefe de instrumentación científica e infraestructuras	rramosl@aemet.es	
Enrique Reyes Sánchez	Instrumentación científica e infraestructuras	ereyess@aemet.es	

<sup>a</sup> Dejó el CIAI durante el periodo 2017-2019

<sup>b</sup> Se incorporó al CIAI durante el periodo 2017-2019

<b>Personal administrativo</b>			
<b>Nombre</b>	<b>Puesto</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Página web personal</b>
Dr. Emilio Cuevas Agulló	Director del Centro de Investigación Atmosférica de Izaña	ecuevasa@aemet.es	ResearchGate Google Scholar
Marcos Damas García	Conductor	mdamasg@aemet.es	
Dra. Natalia Prats Porta	Gestora de proyectos	npratasp@aemet.es	
Concepción Sálamo Hernández <sup>a</sup>	Secretaria	csalamoh@aemet.es	
J. Félix Santo Tomás Castro	Habilitado	jsantotomasc@aemet.es	

<sup>a</sup> Se jubiló en 2019

## 27.1 Homenaje a Concha Sálamo Hernández

En estas páginas queremos rendir un sincero homenaje a nuestra compañera Concepción Sálamo Hernández, conocida como *Concha*, quien se jubiló en agosto de 2019. Ella ha sido una compañera de trabajo entrañable y querida por todos. Gran parte de su vida discurrió en el observatorio de Izaña; desde pequeña pasaba largas temporadas en el observatorio, junto a su hermana Pili Sálamo, acompañando a su abuela *Maruca*, que entonces trabajaba como cocinera en Izaña. Concha recibió gran parte de su educación básica de los empleados que trabajaban en el observatorio, ya que en ese momento el transporte a un emplazamiento tan remoto de alta montaña era muy poco frecuente (una vez al mes). Desde los años sesenta y durante tres décadas Concha conoció a numerosos investigadores de renombre que pasaron por el observatorio de Izaña, como Christian Jünge, Francisco Sánchez, Joseph Prospero, Rainer Schmitt, Ingeborg Levin, y muchos otros que contribuyeron a forjar las bases y el perfil investigador que hoy caracteriza nuestro observatorio.

Concha comenzó a trabajar como cocinera en el observatorio de Izaña en 1986, y es también un ejemplo de valentía y saber adaptarse a los nuevos tiempos.

En 1999 se formó con entusiasmo para poder convertir su puesto de cocinera en otro puesto de auxiliar administrativo, cumpliendo con las funciones de secretaria del CIAI hasta su jubilación.

En su nueva carrera profesional en Izaña manejó con fluidez todas las nuevas herramientas que iban apareciendo rápidamente a lo largo de los años, como internet, el correo electrónico, los documentos de Word, las hojas de cálculo, etc. Concha representa el símbolo de la transición de Izaña desde el modesto observatorio meteorológico en el que estaba sumergido en la posguerra, hasta su despertar como centro de investigación. Ella constituye un ejemplo de adaptación a los nuevos retos, y una clara prueba de que los grandes avances y progresos son posibles si se cuenta con el factor humano adecuado que cree y participa en ese cambio.

Ahora le deseamos a nuestra ex compañera de trabajo una jubilación tranquila y feliz en compañía de su familia y amigos. También esperamos seguir viéndola en las celebraciones en Izaña que hacemos cuando podemos. Muchas gracias por el trabajo de toda una vida, y por su compañerismo. ¡Hasta pronto!





## 28 Lista de acrónimos

ACRÓNIMO EN CASTELLANO		ACRÓNIMO ORIGINAL O EN INGLÉS	
7PM	Séptimo Programa Marco de la Comunidad Europea	FP7	European Community's Seventh Framework Programme
AC	Aseguramiento de la calidad	QA	Quality Assurance
ACE-FTS	Experimento de química atmosférica - Espectrometría por transformada de Fourier	ACE-FTS	Atmospheric Chemistry Experiment - Fourier transform spectroscopy
ACMAD	Centro Africano de Aplicaciones Meteorológicas para el Desarrollo	ACMAD	African Centre of Meteorological Applications for Development
ACOMET	Asociación de Comunicadores de Meteorología	ACOMET	Meteorology Communicators Association
ACSAD	Centro Árabe para el Estudio de las Zonas Áridas y las Tierras Secas	ACSAD	Arab Centre for the Studies of Arid Zones and Dry Lands
ACSO	Sección transversal de absorción del ozono	ACSO	Absorption Cross Section of Ozone
ACTRIS	Red de infraestructuras de investigación en aerosoles, nubes y gases traza	ACTRIS	Aerosols, Clouds, and Trace gases Research InfraStructure Network
ADF	Forzamiento radiativo de los aerosoles	ADF	Aerosol radiative forcing
ADVS	Selección adaptativa de la variación mínima diurna	ADVS	Adaptive Diurnal minimum Variation Selection
AE	Exponente de Ångström	AE	Ångström Exponent
AECID	Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo	AECID	Spanish Agency for International Development Cooperation
AEMET	Agencia Estatal de Meteorología	AEMET	State Meteorological Agency
AEROCOM	Comparaciones entre observaciones y modelos de aerosoles	AEROCOM	Aerosol Comparisons between Observations and Models
AERONET	Red Robótica de Aerosoles	AERONET	AERosol RObotic NETwork
AGU	Unión Geofísica Estadounidense	AGU	American Geophysical Union
AIMCA	Asociación Internacional de Meteorología y Ciencias de la Atmósfera	IAMAS	International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences
AMISOC	Especies menores atmosféricas relevantes para la química del ozono en ambos lados del chorro subtropical	AMISOC	Atmospheric Minor Species relevant to the Ozone Chemistry at both sides of the Subtropical jet
AMMA	Análisis multidisciplinario del monzón africano	AMMA	African Monsoon Multidisciplinary Analysis
ANN	Red neuronal artificial	ANN	Artificial Neuronal Network
AOD	Espesor óptico de los aerosoles	AOD	Aerosol Optical Depth
APS	Sensor polarimétrico de aerosoles	APS	Aerosol Polarimetry Sensor
AQG	Directriz sobre la calidad del aire	AQG	Air Quality Guideline
ARTI	Índice de tiempo de residencia de las partículas de polvo africano	ARTI	African Residence Time Index
ATMOZ	Trazabilidad de la columna de ozono atmosférico total	ATMOZ	Traceability for atmospheric total column of ozone
BAPMoN	Red de estaciones de control de la contaminación general atmosférica	BAPMoN	Background Air Pollution Monitoring Network
BBCH	Instituto Federal de Biología, Oficina Federal de Variedades Vegetales e Industria Química	BBCH	Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie
BDFC	Centro de Predicción del Polvo Atmosférico de Barcelona	BDFC	Barcelona Dust Forecast Center
BIRA-IASB	Instituto Belga de Aeronomía Espacial	BIRA-IASB	Royal Belgian Institute for Space Aeronomy
BNDC	Banco Nacional de Datos Climatológicos	BNDC	National Climatological Data Base
BSRN	Red de referencia para la medición de radiaciones en superficie	BSRN	Baseline Surface Radiation Network
BTO	Observatorio del Botánico	BTO	Botanic Observatory
CALIMA	Mediciones de nubes, aerosoles y hielo en la capa de aire sahariana	CALIMA	Cloud, Aerosols and Ice Measurements in the Saharan Air Layer
CAMS	Servicio de Vigilancia de la Atmósfera del Programa Copernicus	CAMS	Copernicus Atmosphere Monitoring Service
CARS	Centro de teledetección de aerosoles	CARS	Centre for Aerosol Remote Sensing
CARSNET	Red china de teledetección de aerosoles	CARSNET	China Aerosol Remote Sensing NETwork
CC	Control de la calidad	QC	Quality Control
CCD	Dispositivo de acoplamiento de cargas	CCD	Charge-coupled device
CCGG	Grupo de trabajo sobre gases de efecto invernadero y ciclo del carbono	CCGG	Carbon Cycle Greenhouse Gases Group
CCI	Iniciativa de Cambio Climático	CCI	Climate Change Initiative
CCI	Centro Común de Investigación	JRC	Joint Research Centre
CCL	Laboratorio central de calibración	CCL	Central Calibration Laboratory
CEILAP	Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones	CEILAP	Laser and Applications Research Center

ACRÓNIMO EN CASTELLANO		ACRÓNIMO ORIGINAL O EN INGLÉS	
CEIP	Colegio de Educación Infantil y Primaria	CEIP	School of Infant and Primary Education
CEO	Centro de Educación Obligatoria	CEO	Compulsory Education Center
CEOS	Comité sobre Satélites de Observación de la Tierra	CEOS	Committee on Earth Observation Satellites
CIAI	Centro de Investigación Atmosférica de Izaña	IARC	Izaña Atmospheric Research Center
CICERO	Centro de Investigación Internacional sobre el Clima y el Medio Ambiente	CICERO	Center for International Climate and Environmental Research
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas	CIEMAT	Research Centre for Energy, Environment and Technology
CIMO	Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación	CIMO	Commission for Instruments and Methods of Observation
CINDI	Instrumento de medición de dióxido de nitrógeno de la campaña de intercomparación de Cabaw	CINDI	Cabaw Intercomparison campaign Nitrogen Dioxide measurement Instrument
CLC	Capa límite convectiva	CBL	Convective Boundary Layer
CLM	Capa límite marina	MBL	Marine Boundary Layer
CMA	Administración meteorológica de China	CMA	China Meteorological Administration
CMDGEI	Centro Mundial de Datos sobre Gases de Efecto Invernadero	WDCGG	World Data Centre for Greenhouse Gases
CMRE-ASDF	Centro Meteorológico Regional Especializado en la predicción de tormentas de arena y polvo atmosférico	RSMC-ASDF	Regional Specialized Meteorological Centre with activity specialization on Atmospheric Sand and Dust Forecast
CN	Carbono negro	BC	Black Carbon
CNR	Consejo Nacional de Investigaciones de Italia	CNR	Italian National Research Council
CNRS	Centro Nacional de Investigación Científica	CNRS	Centre national de la recherche scientifique
CNS	Centro Nacional de Supercomputación	BSC	Barcelona Supercomputing Center
COCCON	Red colaborativa de observación de columnas de carbono	COCCON	Collaborative Carbon Column Observing Network
COE	Columna de ozono estratosférico	SOC	Stratospheric Ozone Column
COST	Cooperación Europea en Ciencia y Tecnología	COST	European Cooperation in Science and Technology
COT	Columna de ozono troposférico	TOC	Tropospheric Ozone Column
COV	Compuesto orgánico volátil	VOC	Volatile organic compound
CPC	Contador de partículas de condensación	CPC	Condensation Particle Counter
CPT	Tropopausa del punto frío	CPT	Cold Point Tropopause
CRDS	Espectroscopía de absorción láser de anillo descendente de cavidad	CRDS	Cavity Ring-Down Spectroscopy
CRM	Centro Radiométrico Mundial	WRC	World Radiation Center
CRN	Centro Radiométrico Nacional	CRN	National Radiation Center (Spain)
CRR	Intensidad de la precipitación convectiva	CRR	Convective Rainfall Rate
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas	CSIC	Spanish National Research Council
CWT	Trayectoria ponderada de concentración	CWT	Concentration Weighted Trajectory
DBM	Daumont, Brion y Malicet	DBM	Daumont, Brion & Malicet
DI	Duración de la insolación	SD	Sunshine Duration
DMA	Analizador diferencial de la movilidad de partículas	DMA	Differential mobility analyzer
DMN	Dirección de la Meteorología Nacional de Marruecos	DMN	Direction de la Météorologie Nationale
DNI	Irradiancia normal directa	DNI	Direct Normal Irradiance
DOAS	Espectroscopía de absorción óptica diferencial	DOAS	Differential Optical Absorption Spectroscopy
DOD	Espesor óptico del polvo	DOD	Dust optical depth
DREAM	Modelo regional atmosférico de polvo	DREAM	Dust REgional Atmospheric Model
DSCR	Radiómetro digital de color del cielo	DSCR	Digital Sky Colour Radiometer
DVB	Difusión de vídeo digital	DVB	Digital Video Broadcast
EAN	Red Europea de Aeroalérgenos	EAN	European Aeroallergen Network
EARLINET	Red Europea Lidar de Investigación sobre Aerosoles	EARLINET	European Aerosol Research Lidar Network
ECC	Celda de concentración electroquímica	ECC	Electrochemical concentration cell
ECCC-MSC	Ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá - Servicio Meteorológico de Canadá	ECCC-MSC	Environment and Climate Change Canada - Meteorological Service of Canada
ECMWF	Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio	ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ECMWF-IFS	Sistema integrado de pronósticos del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio	ECMWF-IFS	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts - Integrated Forecasting System
ECN	Centro de investigación energética de los Países Bajos	ECN	Energy research Centre of the Netherlands
EGVAP	Programa de EUMETNET de medición de vapor de agua con tecnología GPS	EGVAP	EUMETNET GPS Water Vapour Programme

ACRÓNIMO EN CASTELLANO		ACRÓNIMO ORIGINAL O EN INGLÉS	
EMA	Autoridad Meteorológica Egipcia	EMA	Egyptian Meteorological Authority
EMPA	Laboratorio Federal Suizo de Ciencia y Tecnología de Materiales	EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology)
EMRP	Programa europeo de investigación en metrología	EMRP	European Metrology Research Programme
Eolo-PAT	EOLO - Predicción aerobiológica para Tenerife	Eolo-PAT	Eolo - Aerobiological forecast for Tenerife
EPA	Agencia de Protección Ambiental (Estados Unidos de América)	EPA	Environmental Protection Agency
EPAU	Evaluación integral del impacto de las emisiones de partículas de los automóviles en la calidad del aire urbano	EPAU	Comprehensive assessment of the impact of automobile particulate emissions on urban air quality
EPN	Red permanente de EUREF	EPN	EUREF Permanent Network
ERA-Interim	Reanálisis atmosférico global del ECMWF desde 1979	ERA-Interim	ECMWF global atmospheric reanalysis from 1979
ERIC	Consorcio de Infraestructuras de Investigación Europeas	ERIC	European Research Infrastructure Consortium
ESA	Agencia Espacial Europea	ESA	European Space Agency
ESA-CALVAL	Proyecto de calibración y validación de la Agencia Espacial Europea	ESA-CALVAL	European Space Agency Calibration and Validation project
ESFRI	Foro Estratégico Europeo sobre Infraestructuras de Investigación	ESFRI	European Strategy Forum on Research Infrastructures
ESRL	Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre	ESRL	Earth System Research Laboratory
ETC	Constante extraterrestre	ETC	Extraterrestrial constant
EU COST	Cooperación Europea en Ciencia y Tecnología	EU COST	European Cooperation in Science and Technology
EUBREWNET	Red europea de espectrofotómetros Brewer	EUBREWNET	European Brewer Network
EUDAT	Infraestructura europea de datos	EUDAT	European Data Infrastructure
EUMETSAT	Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos	EUMETSAT	European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites
EURAMET	Asociación europea de institutos nacionales de metrología	EURAMET	European Association of National Metrology Institutes
EUREF	Subcomisión del Marco de Referencia Regional para Europa	EUREF	Regional Reference Frame Sub-Commission for Europe
FCS	Fracción de cielo despejado	FCS	Fraction Clear Sky
FEDER	Fondo Europeo de Desarrollo Regional	ERDF	European Regional Development Fund
FIA	Análisis de inyección en flujo	FIA	Flow Injection Analysis
FID	Detector de ionización de llama (cromatografía de gases)	FID	Flame Ionization Detector (gas chromatography)
FLEXTRA	Modelo de trayectorias flexibles	FLEXTRA	FLEXible TRAjectories
FMI	Instituto Meteorológico Finlandés	FMI	Finnish Meteorological Institute
FNL	Datos de análisis final	FNL	Final Analysis Data
FOV	Campo de visión	FOV	Field Of View
FTIR	Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier	FTIR	Fourier transform infrared spectroscopy
FTS	Espectrometría por transformada de Fourier	FTS	Fourier transform spectroscopy
FW2	Ventana de ajuste 2	FW2	Fitting Window 2
FW5	Ventana de ajuste 5	FW5	Fitting Window 5
FWHM	Anchura a media altura	FWHM	Full Width at Half Maximum
GAWSIS	Sistema de Información de las Estaciones de la VAG	GAWSIS	GAW Station Information System
GCC	Grupo consultivo científico	SAG	Scientific Advisory Group
GC-ECD	Detector de captura de electrones en la cromatografía de gases	GC-ECD	Gas Chromatography Electron Capture Detector
GC-FID	Detector de ionización de llama en la cromatografía de gases	GC-FID	Gas Chromatography Flame Ionization Detector
GC-RGD	Detector de gases reductores en la cromatografía de gases	GC-RGD	Gas Chromatography Reduction Gas Detection
GDAS	Sistema mundial de asimilación de datos	GDAS	Global Data Assimilation System
GEI	Gas de efecto invernadero	GHG	Greenhouse Gas
GELCA	Modelo acoplado euleriano-lagrangiano atmosférico global	GELCA	Global Eulerian-Lagrangian Coupled Atmospheric model
GEO	Órbita geoestacionaria	GEO	Geostationary Orbit
GEOMON	Observación global de la Tierra y seguimiento de la atmósfera	GEOMON	Global Earth Observation and Monitoring of the Atmosphere
GEOS-5	Modelo del Sistema de Observación de la Tierra Goddard	GEOS-5	Goddard Earth Observing System model
GESAMP	Grupo Mixto de Expertos sobre los Aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino	GESAMP	Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection
GFS	Sistema de predicción global	GFS	Global Forecast System
GLOBE	Programa Mundial de Estudio y Observaciones en Beneficio del Medio Ambiente	GLOBE	Global Learning and Observations to Benefit the Environment Programme



ACRÓNIMO EN CASTELLANO		ACRÓNIMO ORIGINAL O EN INGLÉS	
GLONASS	Sistema Global de Navegación por Satélite	GLONASS	Global Navigation Satellite System
GMD	División de vigilancia mundial	GMD	Global Monitoring Division
GMES	Vigilancia mundial del medio ambiente y de la seguridad	GMES	Global Monitoring for Environment and Security
GNSS	Sistema Mundial de Navegación por Satélite	GNSS	Global Navigation Satellite System
GOA	Grupo de Óptica Atmosférica	GOA	Atmospheric Optics Group
GOA-UVA	Grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid	GOA-UVA	University of Valladolid Atmospheric Optics Group
GOME	Experimento de vigilancia del ozono mundial	GOME	Global Ozone Monitoring Experiment
GPS	Sistema de Posicionamiento Global	GPS	Global Positioning System
GRASP	Algoritmo generalizado de obtención de las propiedades de aerosoles y superficiales	GRASP	Generalized Retrieval of Aerosol and Surface Properties
GURME	Proyecto de Investigación de la VAG sobre Meteorología y Medioambiente Urbanos	GURME	GAW Urban Research Meteorology and Environment Project
HARMONICS	Evaluación armonizada de la fiabilidad del software moderno de instrumentación y control nuclear	HARMONICS	Harmonised Assessment of Reliability of MODern Nuclear I&C Software
HIPPO	Observación de polo a polo desde la aeronave HIAPER	HIPPO	HIAPER Pole-to-Pole Observation
HIRLAM	Modelo de alta resolución para zona limitada	HIRLAM	High resolution limited area model
HR	Humedad relativa	RH	Relative Humidity
HUC	Hospital Universitario de Canarias	HUC	Canary Islands University Hospital
HYSPLIT	Modelo híbrido lagrangiano de trayectoria integrada de partícula única	HYSPLIT	Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model
I+D	Investigación y Desarrollo	R&D	Research and Development
IAC	Instituto de Astrofísica de Canarias	IAC	Instituto de Astrofísica de Canarias
IASI	Interferómetro de sondeo atmosférico infrarrojo	IASI	Infrared Atmospheric Sounding Interferometer
ICIA	Instituto Canario de Investigaciones Agrarias	ICIA	Canary Institute of Agricultural Research
ICOS	Sistema de observación integrada del carbono	ICOS	Integrated Carbon Observation System
ICP-AES	Espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente	ICP-AES	Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy
ICP-MS	Espectroscopía de masas con plasma acoplado inductivamente	ICP-MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy
IDAEA	Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua	IDAEA	Institute of Environmental Assessment and Water Research
IEO	Instituto Español de Oceanografía	IEO	Spanish Institute of Oceanography
IES	Instituto de Educación Secundaria	IES	Institute of Secondary Education
IGAC	Proyecto Internacional de la Química de la Atmósfera Global	IGAC	International Global Atmospheric Chemistry Project
IGACO	Observaciones integradas de la química atmosférica a escala global	IGACO	Integrated Global Atmospheric Chemistry Observations
IGN	Instituto Geográfico Nacional de España	IGN	Spanish National Geographic Institute
ILAS	Espectrómetro atmosférico perfeccionado para el estudio del limbo	ILAS	Improved Limb Atmospheric Spectrometer
IMAA	Instituto de metodologías de análisis ambiental	IMAA	Institute of Methodologies for Environmental Analysis
IMK-ASF	Instituto de Investigación en Meteorología y Clima - Gases traza atmosféricos y teledetección	IMK-ASF	Institut für Meteorologie und Klimaforschung - Atmosphärische Spurengase und Fernerkundung
INM	Instituto Nacional de Meteorología de Túnez	INM	Institut National de la Météorologie
INMENSE	Evaluación con IASI del metano y óxido nitroso presentes en la troposfera	INMENSE	IASI for surveying methane and nitrous oxide in the troposphere
INSTAAR	Instituto de investigación ártica y alpina	INSTAAR	Institute of Arctic and Alpine Research
INTA	Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial	INTA	Spanish National Institute for Aerospace Technology
IO3C	Comisión Internacional del Ozono	IO3C	International Ozone Commission
IP	Investigador principal	PI	Principal Investigator
IPMA	Instituto Portugués del Mar y de la Atmósfera	IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
IR	Infrarrojo	IR	Infrared
IRIMO	Organización Meteorológica de la República Islámica del Irán	IRIMO	Islamic Republic of Iran Meteorological Organization
IRSA	Instituto de Aplicaciones de Teledetección	IRSA	Institute of Remote Sensing Applications
ISAF	Instalación de acceso subtropical de Izaña	ISAF	Izaña Subtropical Access Facility
IUP	Instituto de Física Ambiental de Heiderberg	IUP	Institut für Umweltpophysik / Institute of Environmental Physics
IZO	Observatorio Atmosférico de Izaña	IZO	Izaña Atmospheric Observatory
KIT	Instituto Tecnológico de Karlsruhe	KIT	Karlsruhe Institute of Technology
LABEC	Laboratorio de técnicas nucleares para el patrimonio cultural	LABEC	Laboratorio di Tecniche Nucleari per i Beni Culturali

ACRÓNIMO EN CASTELLANO		ACRÓNIMO ORIGINAL O EN INGLÉS	
LAP	Laboratorio de Análisis Palinológicos	LAP	Laboratori d'Anàlisis Palinològiques
LEO	Órbita terrestre baja	LEO	Low Earth Orbit
LIDAR	Detección y localización por ondas luminosas	LIDAR	Light detection and ranging
LOA	Laboratorio de óptica atmosférica	LOA	Laboratoire d'Optique Atmosphérique
LOTUS	Tendencias e incertidumbres a largo plazo del ozono en la estratosfera	LOTUS	Long-term Ozone Trends and Uncertainties in the Stratosphere
LR	Razón lidar	LR	Lidar ratio
LSCE	Laboratorio de ciencias climáticas y medioambientales	LSCE	Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement
LUT	Algoritmo de tabla de consulta	LUT	Look Up Table
MAAP	Fotómetro de absorción multiángulo	MAAP	Multi Angle Absorption Photometer
MACC	Vigilancia de la composición atmosférica y el clima	MACC	Monitoring Atmospheric Composition and Climate
MAPAMA	Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente	MAPAMA	Spanish Ministry of Agriculture and Fisheries, Food and Environment
MARS	Sistema de Recuperación y Archivo Meteorológico	MARS	Meteorological Archival and Retrieval System
MAXDOAS	Espectroscopía multiaxial de absorción óptica diferencial	MAXDOAS	Multi Axis Differential Optical Absorption Spectroscopy
MCAR	Mediana de concentraciones en receptor	MCAR	Median Concentration At Receptor
McIDAS	Sistema de acceso a datos interactivo por computadora para el hombre	McIDAS	Man Computer Interactive Data Access System
MEE	Eficiencia de extinción masiva	MEE	Mass Extinction Efficiency
MFRSR	Radiómetro de filtros múltiples con banda de sombra giratoria	MFRSR	Multi Filter Rotating Shadow-Band Radiometer
MGA	Aproximación geométrica modificada	MGA	Modified Geometrical Approach
MIPAS	Interferómetro de Michelson para el sondeo pasivo de la atmósfera	MIPAS	Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding
MIR	Infrarrojo medio	MIR	Middle Infrared
MISR	Espectrorradiómetro generador de imágenes multiángulo	MISR	Multi-angle Imaging SpectroRadiometer
MLO	Observatorio de Mauna Loa	MLO	Observatorio Mauna Loa
MM5	Modelo mesoescalar	MM5	Mesoscale Model
MODIS	Espectrorradiómetro de formación de imágenes de resolución moderada	MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MOTIV	Vías de transporte de humedad e isótopos en el vapor de agua	MOTIV	MOisture Transport pathways and Isotopologues in water Vapour
MPL	Lidar micropulsado	MPL	Micro-Pulse Lidar
MPLNet	Red de lidares micropulsados	MPLNet	Micro-Pulse Lidar NETwork
MSG	Meteosat de segunda generación	MSG	Meteosat Second Generation
MUSICA	Teledetección multiplataforma de isótopos para investigar el ciclo hidrológico de la atmósfera	MUSICA	Multi-platform remote Sensing of Isotopologues for investigating the Cycle of Atmospheric water
NAFDI	Intensidad del dipolo norteafricano	NAFDI	North African Dipole Intensity
NA-OM-E	Centro Regional para el Norte de África, Oriente Medio y Europa	NA-ME-E	The Regional Centre for Northern Africa, Middle East and Europe
NAS	Almacenamiento conectado en red	NAS	Network-Attached Storage
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio	NASA	National Aeronautics and Space Administration
NASA MPLNET	Red de lidares micropulsados de la NASA	NASA MPLNET	The NASA Micro Pulse Lidar Network
NCAR	Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas	NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	Centros Nacionales de Predicción del Medio Ambiente	NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NDACC	Red para la detección de cambios en la composición de la atmósfera	NDACC	Network for the Detection of Atmospheric Composition Change
NDIR	Analizador de gases no dispersivo en el infrarrojo	NDIR	Non-dispersive infra-red gas analyser
NEMS	Sistema de modelización medioambiental de la NOAA	NEMS	NOAA Environmental Modeling System
NGAC	Componente de aerosoles del GFS del NEMS	NGAC	NEMS GFS Aerosol Component
NIES	Instituto Nacional de Estudios Ambientales	NIES	National Institute for Environmental Studies
NILU	Instituto Noruego de Investigación del Aire	NILU	Norwegian Institute for Air Research
NIR	Infrarrojo cercano	NIR	Near Infrared
NIST	Instituto Nacional de Normas y Tecnología	NIST	National Institute OF Standards and Technology
NMMB	Modelo multiescala no hidrostático en la rejilla B	NMMB	Non-hydrostatic Multiscale Model on the B-grid
NMME	Conjunto multimodelo norteamericano	NMME	North American Multi-Model Ensemble
NOA	Observatorio Nacional de Atenas	NOA	National Observatory of Athens
NOAA	Organismo Nacional para el Estudio de los Océanos y la Atmósfera	NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration

ACRÓNIMO EN CASTELLANO		ACRÓNIMO ORIGINAL O EN INGLÉS	
NORS	Red de demostración de observaciones de teledetección terrestre en apoyo del servicio atmosférico Copernicus	NORS	Demonstration Network Of ground-based Remote Sensing Observations in support of the Copernicus Atmospheric Service
NPF	Formación de nuevas partículas	NPF	New Particle Formation
NRT	Tiempo casi real	NRT	Near Real Time
OAN	Oscilación del Atlántico Norte	NAO	North Atlantic Oscillation
OIEA	Organismo Internacional de Energía Atómica	IAEA	International Atomic Energy Agency
OLI	Generador de imágenes terrestre operativo	OLI	Operational Land Imager
OMI	Instrumento de vigilancia del ozono	OMI	Ozone Monitoring Instrument
OMM	Organización Meteorológica Mundial	WMO	World Meteorological Organization
OMS	Organización Mundial de la Salud	WHO	World Health Organization
ONM	Oficina Nacional de Meteorología de Argelia	ONM	Office Nationale de la Météorologie
ONUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial	UNIDO	United Nations Industrial Development Organization
OSC	Camino óptico de ozono	OSC	Ozone slant column
OT	Tropopausa de ozono	OT	Ozone Tropopause
PAR	Radiación fotosintéticamente activa	PAR	Photosynthetic Active Radiation
PFR	Radiómetro de filtro de precisión	PFR	Precision Filter Radiometer
PGN	Red global Pandonia	PGN	Pandonia Global Network
PHOTONS	Fotometría para el tratamiento operativo de la normalización satelital	PHOTONS	PHOTométrie pour le Traitement Opérationnel de Normalisation Satellitaire
PICASSO	Picosatélite para las observaciones científicas de la atmósfera y el espacio	PICASSO	Pico-Satellite for Atmospheric and Space Science Observations
PIXE	Emisión de rayos X inducida por partículas	PIXE	Particle-Induced X ray Emission
PLASMA	Fotómetro de luz aerotransportada para la vigilancia de masas de aire	PLASMA	Photomètre Léger Aéroporté pour la Surveillance des Masses d'Air
PM	Partículas en suspensión / Partículas	PM	Particulate matter
PMIC	Programa Mundial de Investigaciones Climáticas	WCRP	World Climate Research Programme
PMIM	Programa Mundial de Investigación Meteorológica	WWRP	World Weather Research Programme
PMOD	Observatorio Físico y Meteorológico de Davos	PMOD	Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente	UNEP	United Nations Environment Programme
POLLINDUST	Estudio del polvo y los contaminantes en la capa de aire sahariana	POLLINDUST	Studying the dust and pollutants in the Saharan Air Layer
ppb	partes por mil millones	ppb	parts per billion
ppbv	partes por mil millones en volumen	ppbv	parts per billion by volume
ppm	partes por millón	ppm	parts per million
ppmv	partes por millón en volumen	ppmv	parts per million by volume
ppt	partes por billón	ppt	parts per trillion
pptv	partes por billón en volumen	pptv	parts per trillion by volume
PSR	Espectrorradiómetro solar de precisión	PSR	Precision Solar Spectroradiometer
PTB	Instituto Nacional de Metrología de Alemania	PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
PTU	Presión, temperatura, humedad	PTU	Pressure, temperature, humidity
PWV	Vapor de agua precipitable	PWV	Precipitable Water Vapour
QASUME	Garantía de la calidad de las mediciones espectrales de la radiación ultravioleta en Europa	QASUME	Quality Assurance of Spectral Ultraviolet Measurements in Europe
RA	Anomalía de fila	RA	Row Anomaly
RBCC-E	Centro Regional de Calibración Brewer para Europa	RBCC-E	Regional Brewer Calibration Centre for Europe
RDCC-E	Centro Regional de Calibración Dobson para Europa	RDCC-E	Regional Dobson Calibration Centre for Europe
REA	Red Española de Aerobiología	REA	Spanish Aerobiology Network
REDMAAS	Red Española de DMA Ambientales	REDMAAS	Spanish Network of Environmental DMAs
RGB (composición)	Composición rojo, verde y azul	RGB - composite	Red Green Blue composite
RMS	Media cuadrática	RMS	Root mean square
RMSE	Error cuadrático medio	RMSE	Root mean square error
ROAS	Red de Observación en Altitud del SMOC	GUAN	GCOS Upper-Air Network
ROLO	Observatorio lunar robotizado	ROLO	Robotic Lunar Observatory
RSG	Radiación solar global	GSR	Global Solar Radiation
RTM	Modelo de transferencia radiativa	RTM	Radiative Transfer Model



ACRÓNIMO EN CASTELLANO		ACRÓNIMO ORIGINAL O EN INGLÉS	
SAF	Centro de aplicaciones satelitales	SAF	Satellite Application Facilities
SAL	Capa de aire sahariana	SAL	Saharan Air Layer
SALAM	Caracterización de las masas de aire de la capa de aire sahariana	SALAM	Saharan Air Layer Air Mass characterization
SAO	Sustancias que agotan la capa de ozono	ODSs	Ozone Depleting Substances
SAO	Observatorio Smithsonian de Astrofísica	SAO	Smithsonian Astrophysical Observatory
SAUNA	Intercomparación de columna total de ozono de Sodankylä	SAUNA	Sodankylä Total Column Ozone Intercomparison
SCA	Síndrome coronario agudo	ACS	Acute Coronary Syndrome
SCIAMACHI	Espectrómetro de absorción de imágenes mediante exploración para cartografía de la atmósfera	SCIAMACHI	Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography
SCO	Observatorio de Santa Cruz	SCO	Santa Cruz Observatory
SDM	Módulo de inyección estándar	SDM	Standard Delivery Mode
SDR	Radiación descendente de onda corta	SDR	Shortwave downward radiation
SDS	Tormenta de polvo y arena	SDS	Sand and Dust Storm
SDS-WAS	Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena	SDS-WAS	Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System
SEAIC	Sociedad Española de Aerobiología e Inmunología Clínica	SEAIC	Spanish Society of Aerobiology and Clinical Immunology
SeaWIFS	Sensor de amplio campo de visión con vista al mar	SeaWIFS	Sea-Viewing Wide Field-of-View Sensor
SEM	Error estándar de la media	SEM	Standard Error of the Mean
SHL	Baja térmica sahariana	SHL	Saharan Heat Low
SMHN	Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional	NMHS	National Meteorological and Hydrological Service
SMN	Servicio Meteorológico Nacional de Argentina	SMN	Argentinian Meteorological Service
SMOC	Sistema Mundial de Observación del Clima	GCOS	Global Climate Observing System
SMO03	Sistema Mundial de Observación del Ozono	GO3OS	Global Ozone Observing System
SMPS	Analizador de tamaños de partículas por barrido de movilidad	SMPS	Scanning Mobility Particle Sizer
SOL	Lesiones obstructivas importantes	SOL	Significant Obstructive Lesions
SONA	Sistema de observación de nubes automático	SONA	Automatic cloud observation system
SOP	Procedimiento normalizados de operación	SOP	Standard Operating Procedure
SPALINET	Red hispano-portuguesa de lidares de aerosoles	SPALINET	Spanish and Portuguese Aerosol Lidar Network
SPARC	Procesos Estratosféricos y su función en el Clima	SPARC	Stratosphere-troposphere Processes And their Role in Climate
SPC	Science Pump Corporation	SPC	Science Pump Corporation
SSDM	Sistema Servidor de Datos Meteorológicos	SSDM	Server Meteorological Data System
ST	Sección transversal	XS	Cross Section
STJ	Corriente en chorro subtropical	STJ	Subtropical Jet Stream
STS	Sensor de temperatura del cielo	STS	Sky Temperature Sensor
STT	Estratosfera-troposfera	STT	Stratosphere-to-troposphere
SYNOP	Observación sinóptica de superficie	SYNOP	Surface Synoptic Observation
SZA	Ángulo cenital solar	SZA	Solar Zenith Angle
TCCON	Red de observación de la columna total de carbono	TCCON	Total Carbon Column Observing Network
TD	Tropopausa dinámica	DT	Dynamical Tropopause
TI	Tecnología de la información	IT	Information Technology
TL	Troposfera libre	FT	Free Troposphere
TNA	Acceso transnacional	TNA	Trans National Access
TOAR	Informe de evaluación del ozono troposférico	TOAR	Tropospheric Ozone Assessment Report
TOB	Carga de ozono troposférico	TOB	Tropospheric Ozone Burden
TOC	Columna de ozono total	TOC	Total Ozone Column
TPO	Observatorio del Pico del Teide	TPO	Teide Peak Observatory
TSP	Total de partículas en suspensión	TSP	Total suspended particulates
T T	Tropopausa térmica	T T	Thermal Tropopause
UAB	Universidad Autónoma de Barcelona	UAB	Autonomous University of Barcelona
UD	Unidad Dobson	DU	Dobson Unit
UFP	Partículas ultrafinas	UFPs	Ultrafine Particles
ULL	Universidad de La Laguna	ULL	University of La Laguna
UPC	Universidad Politécnica de Cataluña	UPC	Universitat Politècnica de Catalunya
UPS	Fuente de alimentación continua	UPS	Uninterruptible Power Supply
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos	USGS	United States Geological Survey

ACRÓNIMO EN CASTELLANO		ACRÓNIMO ORIGINAL O EN INGLÉS	
UTC	Tiempo universal coordinado	UTC	Coordinated Universal Time
UTLS	Alta troposfera-baja estratosfera	UTLS	Upper Troposphere-Lower Stratosphere
UV	Ultravioleta	UV	Ultraviolet
UVA	Universidad de Valladolid	UVA	University of Valladolid
VAG	Vigilancia de la Atmósfera Global	GAW	Global Atmosphere Watch
VAG-PFR	Radiómetros de filtro de precisión de la Vigilancia de la Atmósfera Global	GAW-PFR	Global Atmosphere Watch - Precision Filter Radiometer
VALIASI	Validación de los productos EUMETSAT de los gases traza atmosféricos observados desde IASI utilizando espectrometría FTIR terrestre	VALIASI	Validation of the EUMETSAT products of atmospheric trace gases observed from IASI using ground-based Fourier Transform Infrared spectrometry
VIS	Visible	VIS	Visible
VMR	Razón de mezcla en volumen	VMR	Volume Mixing Ratio
VP	Vorticidad potencial	PV	Potential Vorticity
WCC	Centro Mundial de Calibración	WCC	World Calibration Centre
WCCAP	Centro Mundial de Calibración para Física de Aerosoles	WCCAP	World Calibration Centre for Aerosol Physics
WDCRG	Centro Mundial de Datos sobre Gases Reactivos	WDCRG	World Data Center for Reactive Gases
WIGOS	Sistema Mundial Integrado de Sistemas de Observación de la OMM	WIGOS	WMO Integrated Global Observing System
WORCC	Centro mundial de investigación y calibración sobre profundidad óptica	WORCC	World Optical Depth Research and Calibration Centre
WOUDC	Centro mundial de datos sobre el ozono y la radiación ultravioleta	WOUDC	World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre
WRC-WCC-UV	Sección de radiación ultravioleta del Centro Mundial de Calibración del Centro Radiométrico Mundial	WRC-WCC-UV	World Radiation Centre-World Calibration Center - Ultraviolet Section
WRC-WORCC	Centro mundial de investigación y calibración del espesor óptico del Centro Radiométrico Mundial	WRC-WORCC	World Radiation Centre-World Optical Depth Research and Calibration Center
WRDC	Centro Mundial de Datos sobre la Radiación	WRDC	World Radiation Data Centre
wrms	Error cuadrático medio ponderado	wrms	Weighted Root Mean Square
WS-CRDS	Espectroscopía de absorción láser de anillo descendente de cavidad con barrido de longitud de onda	WS-CRDS	Wavelength-Scanned Cavity Ring-Down Spectroscopy
ZHD	Retraso hidrostático cenital	ZHD	Zenith hydrostatic delay
ZSR	Radiación cenital del cielo	ZSR	Zenith Sky Radiance
ZTD	Retraso total cenital	ZTD	Zenith total delay

## 29 Agradecimientos

Un equipo activo, entusiasta y motivado, formado por personal administrativo, técnico y científico, es el factor clave para dirigir un centro como el CIAI. Este informe resume las actividades realizadas en el bienio 2017-2018, un periodo de tiempo desafiante en el que se han producido cambios importantes de personal. Este informe representa una expresión de reconocimiento al trabajo realizado por todas y cada una de las personas que trabajan en el CIAI. Aprovechamos esta oportunidad para agradecer a quienes se han ido, por la dedicación que demostraron en su trabajo durante muchos años y les deseamos lo mejor en sus nuevos puestos, a la vez que damos la bienvenida a quienes se han unido recientemente al CIAI.

Agradecemos el fuerte apoyo del presidente de AEMET (Miguel Ángel López) al CIAI y sus actividades y, en especial, a la directora de Planificación, Estrategia y Desarrollo Comercial (DPEDC-AEMET), Carmen Rus, quien ha propiciado, con gran eficacia, la consideración de nuestras propuestas científicas por parte de los estamentos superiores y ha resuelto con agilidad y eficiencia numerosas necesidades técnicas y de recursos humanos. Agradecemos a Yolanda Berlanga (secretaria de la DPEDC) por habernos facilitado una comunicación accesible y eficiente entre el CIAI y la DPEDC, y por ayudarnos de muchas maneras.

El programa de Vigilancia de la Atmósfera Global de la Organización Meteorológica Mundial ha sido un excelente marco donde

desarrollar nuestras actividades, en el que siempre hemos encontrado gran ayuda y apoyo. El programa de la VAG celebró su 30 aniversario este año, en 2019. El CIAI ha venido contribuyendo al programa de la VAG desde su creación en 1989 y expresamos nuestro agradecimiento a la OMM y a sus organismos asociados tanto por su trabajo en la coordinación y el desarrollo del citado programa como por la continuidad en el apoyo a todas las actividades del CIAI.

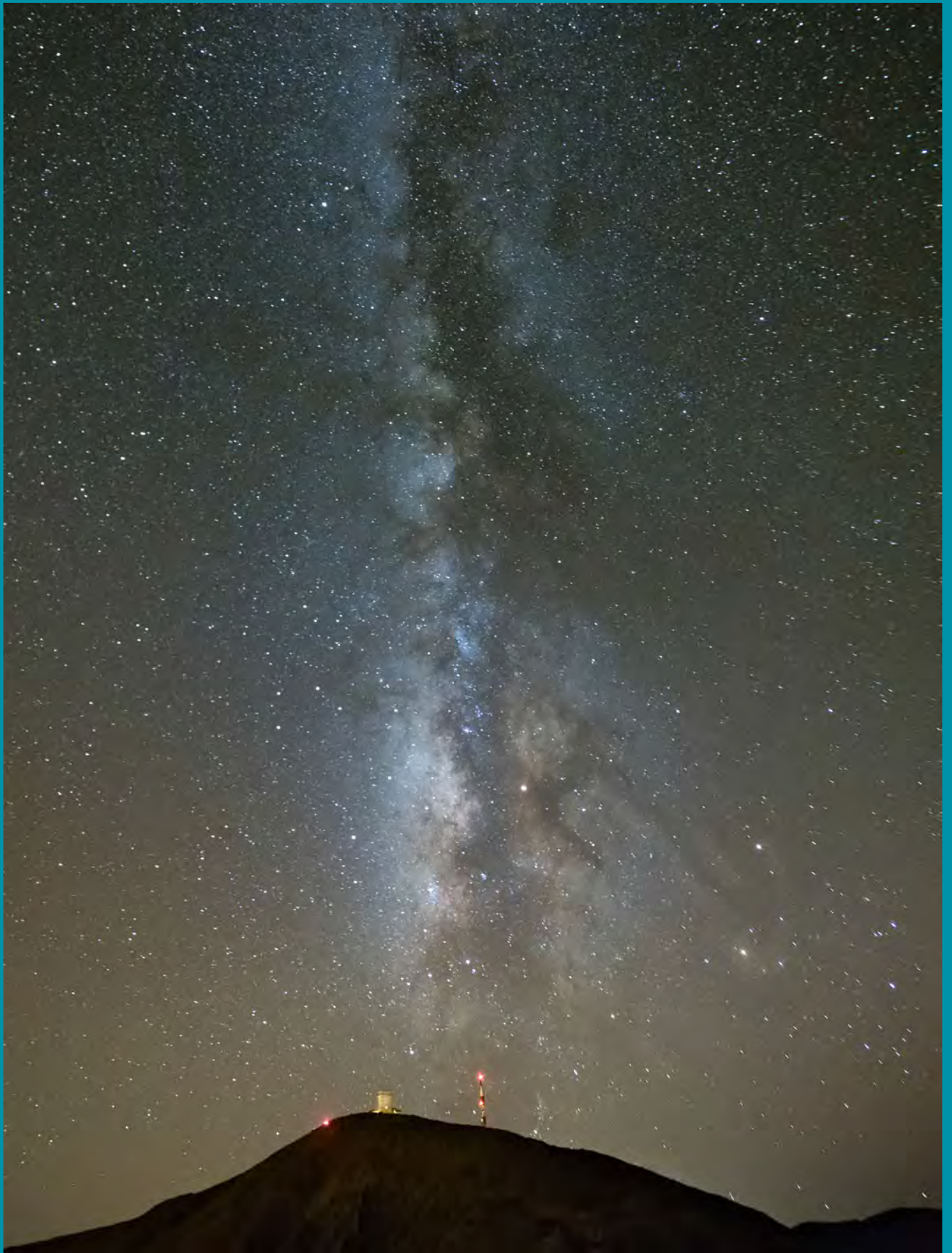
La Dra. Yolanda Luna, jefa del Departamento de Desarrollo y Aplicaciones de AEMET, nos ha ayudado durante el periodo que abarca el informe en la administración de proyectos de I+D. Agradecemos a Miguel Ángel García Couto, jefe del Servicio de Documentación de AEMET, por su apoyo y buenas ideas en la edición final de este informe y otras publicaciones técnicas. El equipo de la biblioteca central de AEMET, dirigido por Elena Morato, ha brindado una ayuda inestimable en el uso de herramientas de difusión de I+D, y en la incorporación de los resultados de nuestra investigación en el repositorio Arcimis.

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas aquellas instituciones, consideradas en este informe, que trabajan estrechamente con el CIAI en los programas de medición en Izaña mediante colaboraciones científicas y a través de proyectos de cooperación internacional. El intercambio de ideas, que hace posible nuevas direcciones de investigación y experiencias, ha sido muy enriquecedor para nosotros.





Fotografía de la cubierta trasera:  
Observatorio Atmosférico de Izaña  
(Foto: Fernando Rey Daluz)



Más información en:  
Centro de Investigación Atmosférica de Izaña  
Calle La Marina, 20, Planta 6  
Santa Cruz de Tenerife  
Tenerife, 38001, España  
<http://izana.aemet.es>