

Calle Montes, A.; González, R.; García, O.; Carracedo, R.; Mateos, D.; Román, R.; Toledano, C.; Cachorro, V.; de Frutos, A.; Ramos, R.; Torres, C. Implementación de una estación de calibración, de datos de satélite, de gases de efecto invernadero y aerosoles

Implementación de una estación de calibración, de datos de satélite, de gases de efecto invernadero y aerosoles

Calle Montes, Abel^{1,2} **González, Ramiro**^{1,2} **García, Omaira**³ **Carracedo, Rogelio**¹
Mateos, David^{1,2} **Román, Roberto**^{1,2} **Toledano, Carlos**^{1,2} **Cachorro, Victoria**^{1,2} **de Frutos, Angel**^{1,2} **Ramos, Ramón**³ **Torres, Carlos**³

¹ Grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid (GOA-UVa)

² Laboratory of Disruptive Interdisciplinary Science (LADIS)

³ Observatorio de Izaña, AEMET

ORCID: Calle Montes [0000-0003-4161-7798](https://orcid.org/0000-0003-4161-7798) González [0000-0003-0017-5591](https://orcid.org/0000-0003-0017-5591) García [0000-0002-8395-6440](https://orcid.org/0000-0002-8395-6440) Carracedo [0000-0001-6966-8867](https://orcid.org/0000-0001-6966-8867) Mateos [0000-0001-5540-4721](https://orcid.org/0000-0001-5540-4721) Román [0000-0003-4889-1781](https://orcid.org/0000-0003-4889-1781) Toledano [0000-0002-6890-6648](https://orcid.org/0000-0002-6890-6648) Cachorro [0000-0002-4627-9444](https://orcid.org/0000-0002-4627-9444) de Frutos [0000-0001-5748-5078](https://orcid.org/0000-0001-5748-5078)

Correspondencia: abel.calle@uva.es ramiro@goa.uva.es ogarcia@aemet.es rogelio.carracedo@uva.es mateos@goa.uva.es roberto.roman@uva.es toledano@goa.uva.es chiqui@goa.uva.es angel@goa.uva.es rmosl@aemet.es ctorresg@aemet.es

RESUMEN

El Centro de Investigación de la Baja Atmósfera de la Universidad de Valladolid (CIBA-UVa) se ha integrado en las redes internacionales de medida de gases de efecto invernadero ICOS (Integrated Carbon Observation System) y COCCON (Collaborative Carbon Column Observing Network); dotada de instrumentación adicional para medida de aerosoles y nubes, fusiona los dos factores más importantes señalados por el IPCC para el estudio del cambio climático: gases de efecto invernadero y aerosoles. El CIBA-UVa, además, se presenta como un punto de validación de productos de satélite, relacionados con CO₂, CH₄, CO, aerosoles y nubes.

Palabras clave: Gases de efecto invernadero, aerosoles, ICOS, COCCON, Validación

Fecha de recepción: 24 enero 2026 · Fecha de aceptación: 24 enero 2026



Implementación de una estación de calibración, de datos de satélite, de gases de efecto invernadero y aerosoles

Calle Montes, Abel ^(1,2), González, Ramiro ^(1,2), García, Omaira ⁽³⁾, Carracedo, Rogelio ⁽¹⁾, Mateos, David ^(1,2), Román, Roberto ^(1,2), Toledano, Carlos ^(1,2), Cachorro, Victoria ^(1,2), de Frutos, Angel ^(1,2), Ramos, Ramón ⁽³⁾, Torres, Carlos ⁽³⁾

⁽¹⁾ Grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid (GOA-UVa)

⁽²⁾ Laboratory of Disruptive Interdisciplinary Science (LADIS).

 0000-0003-4161-7798, abel.calle@uva.es ;  0000-0003-0017-5591, ramiro@goa.uva.es.


 0000-0001-6966-8867, rogelio.carracedo@uva.es ;  0000-0001-5540-4721, mateos@goa.uva.es.

 0000-0003-4889-1781, roberto.roman@uva.es ;  0000-0002-6890-6648, toledano@goa.uva.es.

 0000-0002-4627-9444, chiqui@goa.uva.es ;  0000-0001-5748-5078, angel@goa.uva.es.

⁽³⁾ Observatorio de Izaña, AEMET

 0000-0002-8395-6440, ogarcia@aemet.es ;  0000-0000-0000-0001, rramosl@aemet.es.

 0000-0000-0000-0001, ctorresg@aemet.es.

Resumen: El Centro de Investigación de la Baja Atmósfera de la Universidad de Valladolid (CIBA-UVa) se ha integrado en las redes internacionales de medida de gases de efecto invernadero ICOS (*Integrated Carbon Observation System*) y COCCON (*COllaborative Carbon Column Observing Network*); dotada de instrumentación adicional para medida de aerosoles y nubes, fusiona los dos factores más importantes señalados por el IPCC para el estudio del cambio climático: gases de efecto invernadero y aerosoles. El objetivo del CIBA-UVa es presentar un punto de validación de productos de satélite, relacionados con CO₂, CH₄, CO, aerosoles y nubes.

Palabras clave: Gases de efecto invernadero, Aerosoles, ICOS, COCCON, Validación

Deployment of a calibration station for satellite-based observations of greenhouse gases and aerosols

Abstract: *The Lower Atmosphere Research Center of the University of Valladolid (CIBA-UVa) has been integrated into the international greenhouse gases measurement networks ICOS (Integrated Carbon Observation System) and COCCON (COllaborative Carbon Column Observing Network). Equipped with additional instrumentation for aerosol and cloud measurements, it combines the two most important factors identified by the IPCC for climate change studies: greenhouse gases and aerosols. Furthermore, the objective of CIBA-UVa is to propose a validation site for satellite products related to CO₂, CH₄, CO, aerosols, and clouds.*

Keywords: *Greenhouse gases, Aerosols, ICOS, COCCON, Validation*

1. MOTIVACIÓN Y OBJETIVO

El pasado mes de noviembre-2025 se desarrolló la cumbre del clima COP-30 (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) en Brasil (WMO 2025, *State of the Climate Update for COP30*) para diseñar estrategias de mitigación del cambio climático; aunque se mantienen los compromisos adquiridos en la COP-21 de París (2015) cuyo objetivo central fue limitar el calentamiento global a muy por debajo de 2 °C, con esfuerzos para 1,5°C (UNFCC, 2015), para lo que se requiere lograr un equilibrio entre emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero en la segunda mitad del siglo. La temperatura media global se sitúa aproximadamente 1,42 °C ± 0,12 °C por encima de los niveles preindustriales (1850-1900); en los años recientes la Organización Meteorológica Mundial

(WMO) ha pronosticado el valor de 1,5 °C (WMO, 2025). No obstante, el aumento es muy diverso y condicionado a la distribución de tierras y océanos; así, en el hemisferio norte continental (Europa, Norteamérica, Asia) ronda entre 1,3 °C y 2,0 °C y en el hemisferio sur (Argentina, Chile, Sudáfrica, Australia) estaría situado entre 0,8 °C y 1,2 °C; esta diferencia se debe al menor calentamiento de los océanos que dominan el sur (WMO, 2025). En todo caso, la situación crítica se encuentra en las zonas árticas donde el calentamiento es mucho más acelerado (entre el triple y cuádruple) debido a la amplificación ártica por el efecto de realimentación que provoca el derretimiento del hielo -principalmente-, aumentando las superficies que absorben la radiación solar; si bien existen otras causas entrelazadas, como el cambio en los patrones de distribución de nubes y vapor de agua, principal gas de efecto invernadero, así como

el transporte de calor atmosférico y oceánico desde latitudes medias (Previdi *et al.*, 2021).

El clima se estudia como un sistema complejo con propiedades emergentes (Lenton *et al.*, 2019; IPCC, 2021) en el que confluyen muchos factores y no pueden ser estudiados como la suma de las partes; tanto es así, que el Premio Nobel de Física 2021 le fue otorgado 50% a Syukuro Manabe y Klaus Hasselmann por el modelado físico del clima terrestre, la cuantificación de su variabilidad y la predicción confiable del calentamiento global, validando la influencia de los gases de efecto invernadero en la temperatura global (Nobel Prize, 2021: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2021/summary/>). Con este reconocimiento quedó probado que el aumento de gases de efecto invernadero (GEI) provoca un aumento global de la temperatura, por lo que su control y conocimiento preciso, a nivel planetario, es esencial para mitigar sus efectos adversos.

El objetivo de este trabajo es presentar una estación de medida de GEI para validar y calibrar productos atmosféricos obtenidos por sensores satelitales.

2. SENSORES SATELITALES PARA MEDIDA DE GEI Y AEROSOLES

La actual estrategia internacional de mitigación de efectos del cambio climático exige un conocimiento preciso de las concentraciones de GEI, hacia el que tiende el desarrollo de sensores satelitales. Y éstos, a su vez, requieren de datos robustos *in situ* para validar sus productos. Hacemos un repaso de las misiones más importantes en esta temática.

IASI (*Infrared Atmospheric Sounding Interferometer*), espectrómetro de transformada de Fourier en el infrarrojo térmico que cubre 3 rangos espectrales desde 3.3 a 15.5 μm , con una resolución de 0.5 cm^{-1} y que se encuentra instalado en los satélites MetOp A, B y C operados por EUMETSAT. Presenta una resolución de 12 km (nadir) con un swath de 2200 km y tiene productos de CO_2 , CH_4 , CO entre otros.

TropoMI (*TROPOspheric Monitoring Instrument*), espectrómetro de imagen que cubre 4 rangos espectrales desde 0.270 a 2.385 μm en los rangos de UV, VIS, NIR y SWIR, con resolución espectral de 0.25 a 0.65 nm y una resolución espacial de 5.5x3.5 km^2 , a bordo del satélite Sentinel-5P y cuyos productos son CO y CH_4 , entre otros, así como el índice de aerosoles (UVAI) y propiedades de nubes. Tropomi es, actualmente, el instrumento de referencia para la química atmosférica.

OCO-II y -III (*Orbiting Carbon Observatory*) espectrómetro de alta resolución en 3 rangos espectrales centrados en 0.76, 1.61 y 2.06 μm para la medida de la fracción de CO_2 (XCO_2) con una precisión 0.5-1 ppm.

GOSAT (*Greenhouse gases Observing SATellite*), espectrómetro de transformada de Fourier que cubre 4 rangos espectrales para la medida de fracciones de CO_2 (XCO_2) y CH_4 (XCH_4)

Respecto a los productos de aerosoles que pueden ser validados, son más variados, aunque queremos

destacar: i) MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) que mide el espesor óptico de aerosoles a 550 nm, aplicando 2 algoritmos diferentes (DT, Dark Target y DB, Deep Blue) y en 2 niveles de procesado diferentes, Level-2 y Level-3 y ii) VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*) que es una continuación y mejora de MODIS en sus 2 algoritmos AERDB y AERDT (análogos a DB y DT, respectivamente) y con los mismos niveles de procesado. Jackson *et al.*, 2013, presenta una comparación de ambos sensores.

3. REDES INTERNACIONALES DE GEI

Los datos de GEI son adquiridos a través de varias redes internacionales destacando tres de ellas por la importancia de los organismos científicos que las gestionan y porque realizan observaciones atmosféricas de los principales GEI, concentraciones puntuales, isótopos y flujos turbulentos: i) Programa de Vigilancia Atmosférica Global (GAW) de la Organización Meteorológica Mundial (WMO), ii) el Sistema de Laboratorios de Investigación de la Tierra (ESRL) de la Administración Nacional de la Atmósfera y el Océano (NOAA), de la NASA y iii) el Sistema Integrado de Observación del Carbono (ICOS) del Consorcio de Infraestructuras de Investigación Europeas (ERIC) financiado por la Unión Europea y países socios.

Queremos resaltar que la red ICOS, por su relevancia en este artículo, tiene por objetivos la observación estandarizada de alta precisión y a largo plazo, facilitar la investigación para comprender el ciclo del carbono y proporcionar información necesaria sobre los GEI para la toma de decisiones. Para ello, dispone de estaciones de 3 tipos: i) Ecosistema (especializadas en determinación de flujos tierra-atmósfera), ii) Oceánicas (balance de carbono atmósfera-oceáno) y iii) Atmosféricas. Cada uno de los 3 dominios se gestiona con un TC (*Thematic Center*) que se encarga de proporcionar servicios de datos como procesamiento y control de calidad, capacitación y asistencia técnica para la gestión de las instalaciones, desarrollo y prueba de nuevos sensores de medición, configuración y métodos de instrumentos y desarrollo de nuevos métodos de procesamiento de datos. El *Atmosphere Data Center* (ATC) de ICOS está gestionado desde París (<https://www.icos-cp.eu/observations/atmosphere/atc>) Además, ICOS se estructura con un centro analítico central de calibración (CAL) ubicado en Alemania. Los números de ICOS se resumen en estar integrada por 16 países, 180 estaciones de medición de GEI, 540 investigadores y gestionada por 150 universidades y organismos de investigación de reconocido prestigio.

En España, la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) es la representante ministerial ante la red europea ICOS, la cual dispone de 3 estaciones atmosféricas: el observatorio de Izaña, en Tenerife, operada por AEMET, la estación del El Arenosillo, en Huelva, operada por el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y el CIBA, del que hablamos en el siguiente epígrafe.

Por otra parte, mencionamos las redes que miden cantidades totales, de GEI, en la columna atmosférica: i) TCCON (*Total Carbon Column Observing Network*), red

basada en espectrómetros de transformada de Fourier, en estaciones terrestres, que analizan las regiones visible e infrarrojo cercano del espectro solar, ii) NDACC: (*Network for the Detection of Atmospheric Composition Change*) y iii) COCCON (*COllaborative Carbon Column Observing Network*), desarrollada y gestionada por el Instituto de Tecnología de Karlsruhe (KIT) y soportada por la Agencia Espacial Europea (ESA). El objetivo que persiguen algunas de estas redes es monitorizar los valores de fondo de los GEI recabados en todo el planeta, para su síntesis y homogeneización y puestos a disposición del IPCC); sin embargo, esto no es suficiente para cumplir los requerimientos de la calibración de los sensores satelitales. Dichos requerimientos se encuentran recogidos en el informe de la Comisión Europea para el programa Copernicus (Pinty *et al.*, 2019) dentro del sistema *Monitoring&Verification Support* (MVS) para la monitorización de las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono (CO₂), con el acrónimo fusionado de CO2MVS y establecen la necesidad de observaciones en áreas urbanas e industriales y otras fuentes importantes de emisión siendo, además, la variable más importante y prioritaria la columna de CO₂ y otros gases traza que servirán para calibrar las observaciones a nivel europeo; en lo que será el componente espacial de Copernicus (*Copernicus Sentinels CO₂ Monitoring Constellation*).

4. LA ESTACION CIBA-UVA

Actualmente el Centro de Investigación de la Baja Atmósfera de la Universidad de Valladolid (CIBA-UVA) se encuentra gestionado por el Grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid (GOA-UVA), referencia internacional en ciencia de aerosoles, al ser uno de los nodos de calibración de instrumentos de la red AERONET de la NASA, participando también en la Central Facility de ACTRIS (Aerosols, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure) como “Central Facility for Aerosols Remote Sensing” y por el bagaje científico de sus campañas continentales, árticas y antárticas. Ahora proponemos esta estación para validar y calibrar productos de GEI medidos por satélite.

El CIBA fue aprobado por la red ICOS en abril de 2024, para iniciar el proceso de *labelling* (etiquetado) conforme a los requerimientos establecidos por el ATC de ICOS. Por otra parte, el CIBA también forma parte de la red COCCON (García *et al.*, 2024) para la medida del valor en columna de los GEI y de la red AERONET (AEROSOL ROBOTIC NETWORK de la NASA) (Holben *et al.*, 1998) para el estudio de los aerosoles atmosféricos.

4.1. Ubicación

El CIBA se encuentra situado a una distancia radial de 28 km de la ciudad de Valladolid (centro urbano más próximo). Área rural, continental, con vegetación escasa cuyo paisaje dominante son campos de cereales. Se ubica en las coordenadas (lat,lon) = (41.82 N, 4.93 W) a una altura sobre el nivel del mar de 850 metros. Abarca una extensión de 4 ha y se encuentra perfectamente dotado de infraestructura de comunicación para monitoreo remoto de la instrumentación allí instalada. En resumen: características idóneas para la medida de valores de fondo de GEI, objetivo de la red ICOS.

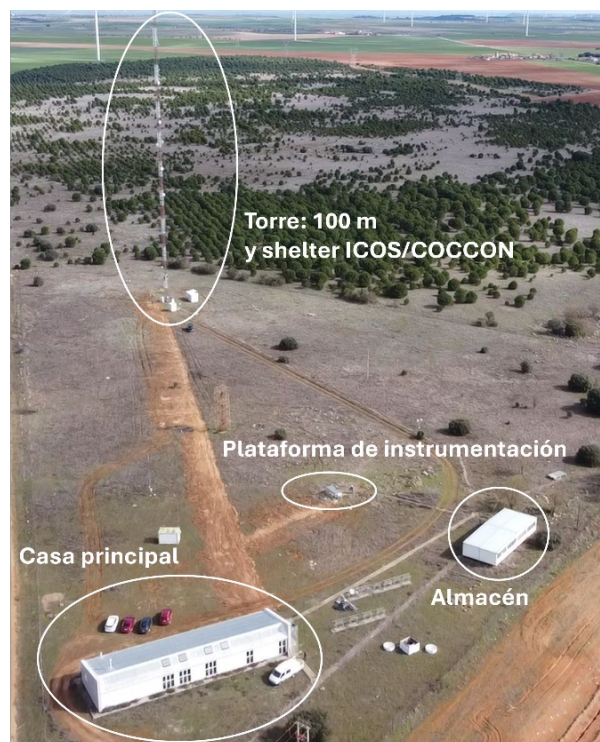


Figura 1. Panorámica de la estación CIBA-UVA integrada en las redes ICOS y COCCON.

Hasta el año 2024 España disponía de 2 estaciones atmosféricas de clase 2: Izaña y El Arenosillo, ambas estaciones ubicadas en un entorno de influencia oceánica. Por ello, disponer de una estación atmosférica en un entorno rural continental aislado de núcleos urbanos aporta un valioso complemento a la red, sobre todo en lo que respecta a la medida de valores de fondo de los GEI. La Figura 1 muestra una panorámica de la estación CIBA-UVA.

4.2. Instrumentación

Parte de la infraestructura instrumental científica del CIBA se compone de una torre de 100 metros que permite la toma de muestras en 3 niveles de altura: 10, 50 y 100 metros de valores de fondo de CO₂, metano, CO y H₂O; para ello utiliza un analizador de gases que cumple los estándares de ICOS modelo Picarro G2401 que utiliza, como sistema de medida, la espectroscopia de cavidad de anillo descendente (O’Keefe & Deacon, 1988). Además, se registran las magnitudes meteorológicas en los 3 niveles: temperatura, humedad relativa, vectores de viento (para lo que cuenta con anemómetros sónicos 2D) y presión atmosférica. Esta aportación es la parte que cumple con los requerimientos de estación atmosférica Clase 2 de ICOS.

Como ya se ha mencionado, el CIBA forma parte de la red COCCON-España, cuyo objetivo principal es la medida de valores en columna de los GEI, lo cual es muy relevante para la calibración de datos de satélite. Para ello, se dispone de una plataforma de instrumentos, situada a 200 m de la torre principal, que incluye: i) ceilómetro, modelo LUFT-CHM15K con un láser de 1064 nm para la medida de altura de aerosoles y nubes, con

un rango de 15 km, ii) espectrómetro FTIR (de Transformada de Fourier) tipo EM-27 con rango espectral en el NIR (*Near Infrared*) para la medición de columna total de CO₂, CH₄, CO, O₂ y H₂O atmosféricos, y especialmente idóneo para calibración/validación de medidas de satélite, iii) cámara de todo cielo Omea 3c, se trata de un sensor hemisférico que toma imágenes RGB cada 5 minutos para el estudio de nubes.

El CIBA está integrado dentro de la red AERONET con un fotómetro triple (Solar, Lunar y de cielo) CIMEL CE318-T, con canales espectrales entre 340 y 1640 nm para el estudio de aerosoles atmosféricos y vapor de agua.

5. CONCLUSIONES

En el año 2001, el IPCC publicó su tercer informe científico incluyendo una clasificación de los componentes atmosféricos, de su importancia en el forzamiento radiativo atmosférico relacionado con el calentamiento climático, en función de su grado de conocimiento científico (*Climate Change 2001: The Scientific Basis*). Este informe mostraba que los mecanismos de calentamiento de los GEI son muy bien conocidos y su papel en el forzamiento radiativo atmosférico es predominante; por otra parte, los aerosoles atmosféricos fueron presentados en el informe como el principal reto científico. La presentación del CIBA-UVa unifica los dos aspectos más relevantes del cambio climático: GEI y aerosoles, por lo que pasa a convertirse en un referente científico en el contexto del cambio climático.

6. AGRADECIMIENTOS

La implementación de la red COCCON-España y la instrumentación ICOS instalada en el CIBA-UVa ha sido financiada por la Unión Europea-Next Generation EU/Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de España (PRTR), a través de las actuaciones P02.C05.I03.P05.S000.42.E001 y P02.C05.I03.P05.S000.43.E001.

7. REFERENCIAS

Francis, J. A. and Vavrus, S. J. 2015. Evidence for a wavier jet stream in response to rapid Arctic warming. *Environ. Res. Lett.* 10 014005. DOI 10.1088/1748-9326/10/1/014005

García, O.E., Taquet, N., Sepúlveda, E., Ramos, R., Hase, F., ... Torres, C. (2024). COCCON-España: Hacia un Sistema Integrado de Gases de Efecto Invernadero en España. *Actas del XX Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, pp. 145-148. 2024, Cádiz

Holben, B. N., Eck, T. F., Slutsker, I., Tanré, D., Buis, J. P., Setzer, A., Vermote, E., Reagan, J. A., Kaufman, Y. J., Nakajima, T., Lavenue, F., Jankowiak, I., and Smirnov, A.: AERONET – a federated instrument network and data archive for aerosol characterization, *Remote Sens. Environ.*, 66, 1–16, 1998.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Sixth Assessment Report of the IPCC.*

Cambridge University Press.
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

Jackson, J., Liu, H., Laszlo, I., Kondragunta, S., Remer, L. A., Huang, J., & Huang, H.-C. (2013). Suomi-NPP VIIRS Aerosol Algorithms and Data Products. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(22), 12673–12689. Doi: 10.1002/2013JD020449

Lenton TM, Rockström J, Gaffney O, Rahmstorf S, Richardson K, Steffen W, Schellnhuber HJ. Climate tipping points - too risky to bet against. *Nature*. 2019 Nov;575(7784):592-595. doi: 10.1038/d41586-019-03595-0.

O’Keefe, A., & Deacon, D. A. G. (1988). Cavity ring-down optical spectrometer for absorption measurements using pulsed laser sources. *Review of Scientific Instruments*, 59(12), 2544–2551. <https://doi.org/10.1063/1.1139895>

Pinty, B., Ciais, P., Dee, D., Dolman, H., Dowell, M., Engelen, R., Holmlund, K. ... and Zunker, H. (2019). An Operational Anthropogenic CO₂ Emissions Monitoring & Verification Support Capacity – Needs and high level requirements for in situ measurements, *European Commission Joint Research Centre*, EUR. 29817 EN. <https://doi.org/10.2760/182790>.

Previdi, M, Smith, K. L. and Polvani, L. M. (2021). Arctic amplification of climate change: a review of underlying mechanisms. *Environ. Res. Lett.* 16 093003. Doi: 10.1088/1748-9326/ac1c29

UNFCC, 2015 <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

World Meteorological Organization. (2025). State of the Climate Update for COP30. WMO. <https://public.wmo.int/publication-series/state-of-climate-update-cop30>