

MÁS DE CIEN AÑOS OBSERVANDO LA ATMÓSFERA: EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN ATMOSFÉRICA DE IZAÑA

Carlos J. Torres García
Director del CIAI-AEMET

RESUMEN

En este artículo se hace una revisión del origen y desarrollo del Centro de Investigación Atmosférica de Izaña de la AEMET. Cómo surgió, y cómo ha llegado a ser uno de los centros científicos de referencia en la monitorización y vigilancia de la composición de la atmósfera, y cuál es su actividad actual y perspectivas de futuro.

1. INTRODUCCIÓN

El Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (CIAI), perteneciente a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, se ha posicionado en los últimos años como uno de los centros científicos de referencia a nivel mundial en la monitorización y vigilancia de la composición de la atmósfera y de los mecanismos físico-químicos que la regulan. La urgencia de las acciones a realizar relacionadas con el estado del clima y el medio ambiente exige que tanto los responsables de la toma de decisiones, como el público en general, tengan acceso a información fiable y a datos de alta calidad sobre el estado de la atmósfera y de los mecanismos que la regulan, y de cómo ha ido cambiado con los años. Ante este escenario, las actividades desarrolladas en el CIAI adquieren mayor importancia debido a su impacto en el actual contexto de cambio climático.

En el CIAI se llevan a cabo actividades de investigación y vigilancia de los componentes atmosféricos capaces de propiciar un cambio en el clima de la Tierra (gases de efecto invernadero y aerosoles), un deterioro de la capa de ozono, así como de aquellos componentes que juegan un papel fundamental en la calidad del aire, tanto a escala local como global. Además, participa en actividades de evaluación de sensores atmosféricos terrestres y a bordo de satélites, y mantiene una estrecha colaboración con instituciones nacionales e internacionales para el desarrollo de nuevos sistemas de observación de la atmósfera.

El Observatorio Atmosférico de Izaña (OAI) (Figura 1), situado en la isla de Tenerife (latitud subtropical) a 2367 m s.n.m. en la zona de pre-parque del Parque Nacional del Teide, perteneciente al CIAI, y es donde principalmente se desarrolla la actividad del centro. El observatorio está situado en un lugar privilegiado para el estudio de las condiciones de fondo de la atmósfera al encontrarse, prácticamente todo el año, por encima de la capa de inversión térmica que caracteriza a la atmósfera en esta latitud, y por tanto, libre de influencias antropogénicas locales. El régimen normal de vientos alisios del nordeste (NE) asociado al anticiclón de las Azores determina que las capas bajas de la atmósfera, por debajo del observatorio, sean frescas y húmedas, mientras que en altura, al encontrarse bajo la influencia de la rama descendente de la célula de Hadley, el aire es más seco y procedente de capas altas de la atmósfera. Esto hace que en la frontera de estas dos masas de aire se forme una inversión térmica que está caracterizada por el llamado “mar de nubes”, que hace de límite entre ambas capas, inhibiendo

la influencia de las masas de aire de las capas bajas más “contaminadas”, lo que permite que prevalezca en el observatorio condiciones de “aire limpio”.

La situación geográfica, su altitud y su cercanía al continente africano, han convertido al OAI en un laboratorio natural para la vigilancia y estudio de la atmósfera tanto en condiciones de fondo, como para el transporte de masas de aire de largo recorrido (oceánicas y de capas altas de la atmósfera) como procedentes del continente africano (intrusiones de “polvo” sahariano). Pero su reconocimiento a nivel mundial no solo ha sido debido a sus condiciones privilegiadas sino por el firme compromiso que desde su creación ha tenido este centro con la ciencia y la investigación.



Figura 1: Vista panorámica del Observatorio Atmosférico de Izaña del CIAI. Fuente: @ICOS-ERIC.

2. ORIGEN DEL OBSERVATORIO ATMOSFÉRICO DE IZAÑA

Las Islas Canarias, y en concreto la isla de Tenerife, captaron la atención de la comunidad científica desde hace siglos. Su ubicación estratégica, en el Atlántico Norte cerca del continente africano, junto con su altitud, convirtió a Tenerife en un lugar idóneo para estudios astronómicos, atmosféricos y medioambientales.

Una de las primeras figuras en destacar la importancia de la isla fue el naturalista alemán Alexander von Humboldt, quien, en su visita de 1799, describió las características únicas de la isla, tomando las primeras medidas de temperatura del aire y presión atmosférica, además de determinar la altitud del “mar de nubes” y su origen (vientos alisios del NE y efecto orográfico). El interés por la isla se mantuvo en los años sucesivos, pero fue a principios del siglo XX, cuando la comunidad meteorológica europea, viendo la importancia de este emplazamiento para el estudio de la alta troposfera, identificó la necesidad de contar con un observatorio permanente en la isla de Tenerife.

En 1904 y 1905, el profesor H. Hergesell realizó sus primeras campañas de sondeos atmosféricos en aguas canarias a bordo del yate “*Princesse Alice*”, propiedad de su amigo y compañero de expediciones científicas el oceanógrafo y príncipe Alberto de Mónaco. Fue Hergesell quien impulsó el establecimiento de un observatorio provisional, con medios proporcionados por la Comisión Internacional de Aerostación Científica (CIAC), en Las Cañadas del Teide (1909). El gobierno español, al enterarse de la instalación de dicho observatorio en suelo español, estableció negociaciones diplomáticas con el gobierno alemán, por las que se acordó la sesión temporal del uso del observatorio de Las Cañadas del Teide, y se comprometió a la construcción de un nuevo observatorio español permanente en las cumbres de Tenerife. En octubre de 1911, se desplazó a la isla una comisión científica con el propósito de buscar el emplazamiento más apropiado para el futuro observatorio, y en los años 1912 y 1913, se firmaron dos reales decretos para la construcción del observatorio de Izaña, el segundo de los cuales permitió la creación del hasta entonces inexistente cuerpo facultativo de Meteorólogos y el de Auxiliares de Meteorología.

Así, el 1 de enero de 1916 se inauguró el Observatorio Atmosférico de Izaña (Figura 2), situado en la ubicación actual de la montaña de Izaña, siendo además el segundo observatorio del Servicio Meteorológico Nacional (SNM), después del Observatorio Meteorológico del Retiro, iniciándose de esta forma la actividad científica y de vigilancia atmosférica que dura hasta nuestros días.

*Figura 2: Fotos antiguas del Observatorio Atmosférico de Izaña.
Los edificios de las fotos se siguen usando actualmente*



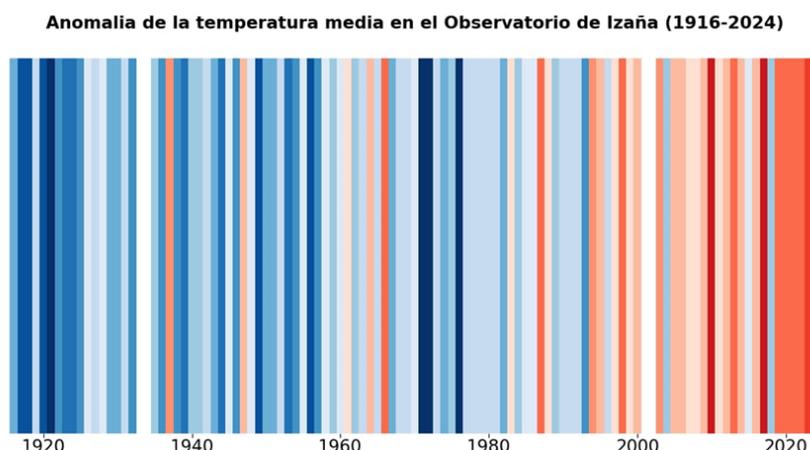
Posteriormente, en la década de los 40 y 50, la actividad científica en el Observatorio de Izaña se mantuvo, destacando los trabajos del meteorólogo canario I. Font Tullot, con trabajos sobre el clima de Izaña, Canarias y África Occidental, pero no fue hasta el año 1958, Año Geofísico Internacional, cuando se volvió a colaborar con científicos extranjeros, con ocasión de un eclipse solar (1959), que utilizaron el observatorio para llevar a cabo estudios sobre la transparencia de la atmósfera y para examinar el grado de idoneidad de ésta para las observaciones astronómicas. A partir de ese momento, se reinició la colaboración extranjera en el observatorio, con estudios punteros y novedosos, como los estudios sobre el transporte de aerosoles y de componentes químicos en la troposfera subtropical liderados por el profesor J. Prospero, de la Universidad de Miami (finales de los 70).

El interés creciente por parte de la comunidad científica en la idoneidad de las condiciones de Izaña para estudios atmosféricos, se ve reflejada en las diferentes mediciones atmosféricas (ozono superficial, CO₂, CH₄, núcleos de Aitken, turbiedad atmosférica, etc.) y estudios que se realizaron a partir de 1981 encaminados a determinar la validez del observatorio como Estación de la Red de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica de Fondo (*Background Atmospheric Pollution Monitoring Network*, BAPMoN).

En 1984, el Observatorio de Izaña se convirtió en estación BAPMoN de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) como estación representativa de la troposfera libre en la región subtropical del hemisferio norte, y en 1989, tras fusionarse BAPMoN con el Sistema Mundial de Observación del Ozono (*Global Ozone Observing System*, GO3OS), se creó el Programa de Vigilancia Atmosférica Global (VAG) de la OMM, del cual el Observatorio de Izaña pasó a ser parte desde su inicio, y dentro del cual sigue realizando su actividad científica.

La VAG-OMM integra diversas actividades de investigación y monitoreo en el ámbito del medio ambiente atmosférico, y entre sus principales objetivos está los de proporcionar datos e información sobre la composición química y las características físicas de la atmósfera, sus cambios y los factores que los impulsan. Estos datos son necesarios para comprender mejor el comportamiento de la atmósfera y sus interacciones con los océanos y la biosfera. El OAI es una de las 31 estaciones globales de la VAG que sirven como centros de excelencia y realizan una amplia investigación sobre los cambios en la composición atmosférica.

Figura 3: Anomalía de la temperatura media en el Observatorio de Izaña para el periodo 1916-2024, tomando como referencia la temperatura promedio 1961-1990.



El CIAI, gracias a la estrecha colaboración con otras instituciones nacionales e internacionales desde su inicio, ha podido mantener un programa continuo de observación de alta calidad a largo plazo (multidecenal), que ya ha proporcionado más de 108 años de datos meteorológicos (Figura 3), 40 años de mediciones continuas de gases de efecto invernadero (CO_2 y CH_4) y cerca de 30 años de otros parámetros, como el contenido de ozono superficial y en columna, radiación ultravioleta y solar, aerosoles in-situ y en columna, vapor de agua y otros gases reactivos. Todas estas series de datos a largo plazo son invaluable para determinar el cambio climático, y son el resultado del compromiso, constancia y enfoque riguroso que se ha realizado desde el CIAI en todos estos años. Como reconocimiento a este trabajo y trayectoria, el OAI fue reconocido como estación centenaria del Sistema de Observación del Clima Global (*Global Climate Observing System*, GCOS) de la OMM en 2016.

3. ACTIVIDAD CIENTÍFICO-TÉCNICA DEL CIAI

El programa de Vigilancia Atmosférica Global (VAG) de la OMM tiene como objetivo la vigilancia sistemática de la evolución de la composición atmosférica, el análisis y verificación del cumplimiento de los acuerdos internacionales en políticas medioambientales, como el Protocolo de Montreal (1987), el Protocolo de Kioto (1997) o el Protocolo de París (2015), y el desarrollo de capacidades para predecir estados futuros del tiempo y del clima.

Actualmente, la actividad del CIAI se desarrolla dentro de cinco de las seis áreas focales del programa VAG-OMM: Gases de Efecto Invernadero (GEI), Aerosoles, Gases Reactivos, Ozono y Radiación UV. Además, las medidas de los diferentes compuestos y parámetros atmosféricos dentro de cada uno de los programas, se hacen con diferentes instrumentos y técnicas de medida, lo que permite al OAI, no solo ser un centro de referencia en la observación atmosférica sino que permite la intercomparación y validación de diferentes técnicas de medida, la calibración y evaluación de sensores atmosféricos terrestres y a bordo de satélites, y colaborar con otras instituciones nacionales e internacionales en el desarrollo de nuevos sistemas de observación de la atmósfera.

Además, el CIAI participa de forma activa en actividades de vigilancia e investigación dentro de redes internacionales asociadas a VAG, suministrando datos que se han obtenido siguiendo protocolos altamente exigentes, como son NDACC (*Network for the Detection of Atmospheric Composition Change*), AERONET (*AErosol RObotic NETwork*), BSRN (*Baseline Surface Radiation Network*), TCCON (*Total Carbon Column Observing Network*), y MPLNET (*Micro Pulse Lidar Network*, NASA). Asimismo, el CIAI también participa en dos infraestructuras de investigación de la Comisión Europea (*European Research Infrastructure Consortium*, ERIC) que son ACTRIS (*Aerosol, Clouds and Trace Gases*), cuya finalidad es producir conjuntos de datos de alta calidad en el área de las ciencias

atmosféricas, y ICOS (*Integrated Carbon Observation System*), establecido para satisfacer la necesidad de una red de observación de gases de efecto invernadero versátil y a largo plazo en Europa.

El CIAI también da apoyo al programa VAG, garantizando la calidad de sus medidas, mediante la gestión del Centro Regional de Calibración Brewer para Europa (RBCC-E), que calibra los espectrómetros Brewer en Europa y el norte de África (instrumentos para la monitorización del ozono en columna), mantiene la referencia de ozono Brewer y alberga la Red Europea de Brewer (EuBrewNet) referencia de Copernicus (CAMS), y la gestiona de un Centro Líder de Medición de Aerosoles y Vapor de Agua (*Measurement Lead Center*, MLC) para instrumentación de teledetección para la OMM.

Por otro lado, participa activamente en la gestión técnica y el asesoramiento científico del Centro Regional de Tormentas de Polvo y Arena (SDS-WAS) de la OMM, gestionado conjuntamente por el BSC (*Barcelona Supercomputing Center*) y AEMET, y participa en proyectos de Cooperación con África, para el apoyo a sistemas de monitorización del cambio climático por instituciones africanas, y con Sudamérica.

Figura 4: Imagen del edificio principal y de la torre del Observatorio Atmosférico de Izaña del CIAI.



Fuente: @ICOS-ERIC.

Junto con el Observatorio de Izaña (Figura 4), el CIAI también realiza medidas de forma continua en otras estaciones situadas en la isla de Tenerife, como son: el Observatorio de Santa Cruz de Tenerife (SCO, medidas en condiciones urbanas y de capa de mezcla marítima), el Observatorio del Botánico (BTO, ozonosondeos) y el Observatorio Pico Teide (PTO, estación de La Rambleta del Teleférico del Teide a 3555 m s.n.m.).

Todas las actividades del CIAI están articuladas a través de los siguientes programas propios:

3.1. Programa Gases de Efecto Invernadero (GEIs) y Ciclo del Carbono

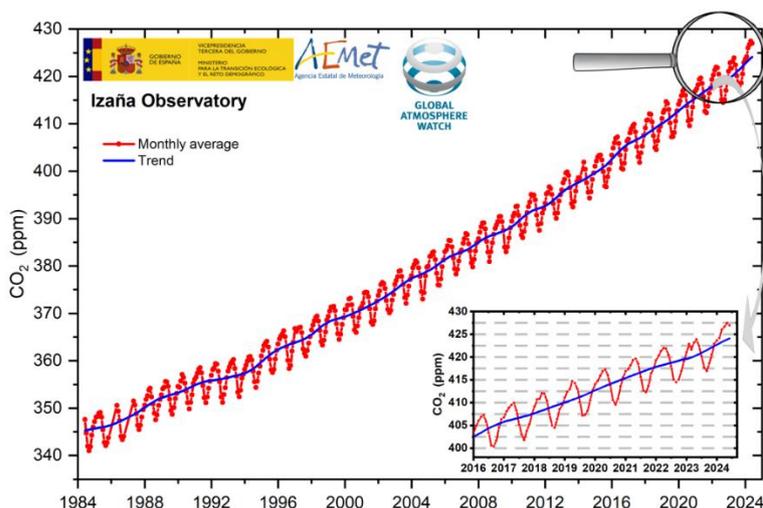
Este programa soporta el funcionamiento de dos estaciones independientes de medida de gases de efecto invernadero, pertenecientes a las dos redes mundiales más importantes de GEIs (CO_2 , CH_4 , N_2O , SF_6 , CO): VAG-OMM, con medidas desde 1984 (Figura 5), e ICOS ERIC, desde 2021. Además, desde 1984, se recogen muestras de CO_2 para el Grupo del Ciclo del Carbono del Institut für Umweltphysik de la Universidad de Heidelberg, para la determinación del isótopo radiactivo carbono 14, y desde 1991, se toman muestras semanales para la Red Cooperativa de Muestreo de Aire NOAA/ESRL/GMD CCGG para la determinación de la proporción de mezcla de dióxido de carbono (y sus proporciones de isótopos estables), metano, monóxido de carbono, hidrógeno, óxido nitroso, hexafluoruro de azufre y algunos gases traza más.

3.2. Programa de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)

A diferencia del resto de programas del CIAI, éste no se constituye a partir de la medida de un compuesto o parámetro atmosférico sino de la técnica de medida utilizada, que permite tener

información del contenido en columna y distribución vertical de los principales GEIs. En la espectrometría por transformada de Fourier (FT), la radiación de solar se modula mediante un interferómetro y todas las frecuencias ópticas se registran simultáneamente, para luego utilizar una FT matemática para recuperar el espectro de absorción atmosférica. El programa FTIR del CIAI es resultado de una estrecha colaboración con el IMK-ASF-KIT (Instituto de Meteorología e Investigación del Clima, Gases Traza Atmosféricos y Teledetección, Karlsruhe Instituto de Tecnología (KIT), Alemania). En agosto de 2022 se instaló en Izaña un nuevo espectrómetro IFS 125HR, propiedad de CIAI-AEMET, para sustituir el anterior equipo propiedad del KIT. Además, la versión portable de este instrumento, son los espectrómetros EM27/SUN con los que se está montando la Red Nacional COCCON-España (*Collaborative Carbon Column Observing Network*) para la medida de GEI.

Figura 5: Media mensual (rojo) y línea de tendencia (azul) de la concentración atmosférica de CO₂ en el Observatorio de Izaña. La imagen ampliada muestra las concentraciones en el periodo 2016-2024.



3.3. Programa de Ozono Total en Columna y Radiación

El principal objetivo de este programa es obtener la columna de ozono total y la radiación espectral ultravioleta (UV) con la mayor precisión y estabilidad posible, para poder intercomparar las medidas con otros instrumentos o técnicas de medida. Este programa se inició en 1991 con las medidas realizadas por espectroradiómetro Brewer, y actualmente el CIAI es el responsable de la mayor red mundial de espectroradiómetros Brewer (EuBrewNet, *European Brewer Network*), y es centro de calibración Brewer (RBCC-E, *Regional Brewer Calibration Center for Europe*) reconocido por la OMM. Por otro lado, el CIAI dentro de su programa de medida de radiación atmosférica, desde 2009 forma parte de la BSRN del WRMC (*World Radiation Monitoring Center*), con una estrecha colaboración con el Grupo de Óptica Atmosférica de la Universidad de Valladolid.

3.4. Programa de Gases Reactivos y Ozonosondeos

El programa de medida de gases reactivos in-situ incluye la medida continua y de alta calidad del O₃, NO_x y SO₂ en el Observatorio de Izaña (IZO) y en el Observatorio de Santa Cruz (SCO), para caracterizar las reacciones físico-químicas, y los procesos de transporte, dentro de la capa de mezcla y en la atmósfera libre, como parte del programa VAG-OMM (medidas de ozono en IZO desde 1987). Estas medidas en superficie se complementan con la medida del perfil vertical y contenido en total de ozono en columna, a través de un ozonosondeo semanal que se realiza de forma continua desde 1992, y que actualmente se lanza desde el BTO, contribuyendo a la red internacional NDACC.

Figura 6: Instrumentación en la azotea de la torre del OAI: en primer plano, instrumentación para la medida de aerosoles en columna con técnica de fotometría de la red AERONET, y en un segundo plano, espectroradiómetro Brewer para la medida de ozono en columna y seguidor solar con sensores de radiación.



3.5. Programa de Aerosoles y Vapor de Agua

Debido a la complejidad de la medida y caracterización de los aerosoles, este programa de medida se divide a su vez en una línea de trabajo relacionada con la medida de aerosoles in-situ, para la determinación de la masa, concentración, composición química, distribución de tamaños y propiedades ópticas del aerosol, y otra utilizando técnicas de medida en remoto para la caracterización en columna por fotometría solar (Figura 6) y técnica LIDAR. Las medidas del espesor óptico de aerosoles con fotometría y técnica LIDAR se realizan tanto desde IZO como desde SCO, lo que permite caracterizar la estructura vertical de las intrusiones de “polvo” sahariano que afectan a la isla. Además, Izaña es Centro de Calibración de AERONET-NASA, que es la principal red mundial de medida de aerosoles por fotometría, encargándose de la calibración de los instrumentos de referencia de AERONET y CARSNET (China), así como de los fotómetros de estaciones del Norte de África. Como parte del programa de aerosoles, el OAI participa en la infraestructura europea ACTRIS ERIC (*Aerosol, Clouds and Trace Gases*) como NF (*National Facility*) para la medida de aerosoles in-situ, y como CF (*Central Facility*) para la calibración de instrumentación de teledetección. Además, dentro de este programa también se incluyen las medidas de vapor de agua en columna, debido a la importancia de los procesos de nucleación entre los aerosoles y el vapor de agua. Es por este amplio espectro de técnicas de medida por lo que ha sido reconocida como Centro Líder de Medición (MLC) de Aerosoles y Vapor de Agua para instrumentación de teledetección por la OMM.

4. PERSPECTIVA DE FUTURO

El CIAI-AEMET se ha convertido a lo largo de los años en un centro científico de referencia para la observación de la atmósfera, y este reconocimiento ha sido posible no solo por la complejidad y calidad de sus programas de medida, sino al compromiso y dedicación de todo su personal, lo que ha hecho posible que sea reconocido como un centro de excelencia, comprometido con la investigación y el desarrollo científico.

Ante el reto del impacto del cambio climático en el que nos encontramos, la existencia de centros de este tipo se hace fundamental para poder atender con fiabilidad, y a través de la ciencia, a las necesidades que la sociedad requiere. Es por ello que es necesario continuar con el trabajo riguroso y con el nivel de exigencia que se ha venido teniendo en estos más de 100 años de vida, para poder dar información verás a la sociedad y a los responsables en la toma de decisiones. Esto solo será posible a través del fortalecimiento de la comunidad científica, de la colaboración entre las instituciones, y con la comunicación y divulgación de los resultados al resto de la sociedad.

5. REFERENCIAS

Cuevas, E., Milford, C., Barreto, A., Bustos, J. J., García, O. E., García, R. D., Marrero, C., Prats, N., Ramos, R., Redondas, A., Reyes, E., Rivas-Soriano, P. P., Romero-Campos, P. M., Torres, C. J., Schneider, M., Yela, M., Belmonte, J., Almansa, F., López-Solano, C., Basart, S., Werner, E., Rodríguez, S., Alcántara, A., Alvarez, O., Bayo, C., Berjón, A., Borges, A., Carreño, V., Castro, N. J., China, N., Cruz, A. M., Damas, M., González, Y., Hernández, C., Hernández, J., León-Luís, S. F., López-Fernández, R., López-Solano, J., Mármol, I., Martín, T., Parra, F., Rodríguez-Valido, M., Santana, D., Santo-Tomás, F. and Serrano, A.: *Izaña Atmospheric Research Center Activity Report 2021-2022*. (Eds. Cuevas, E., Milford, C. and Tarasova, O.), State Meteorological Agency (AEMET), Madrid, Spain and World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, NIPO: 666-24-002-7, WMO/GAW Report No. 290, <https://doi.org/10.31978/666-24-002-7>, 2024.