

EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN ATMOSFÉRICA DE IZAÑA, HOY

*Emilio Cuevas Agulló Director del centro de Investigación Atmosférica de Izaña
Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)*

Introducción

El Observatorio de Izaña ha vivido una rápida evolución en los últimos años que se inició, aunque más lentamente, a partir de los años 90. Esta evolución ha venido, en gran medida, motivado por los profundos cambios experimentados por los sistemas de observación e investigación atmosférica en el contexto internacional, y por la creación, en el seno de la Organización Meteorológica Mundial (OMM; www.wmo.int), del Programa de Vigilancia Atmosférica Global (VAG; GAW; Global Atmospheric Watch; www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw_home_en.html). La descripción de esta evolución, poco conocida, y del papel que juega hoy día Izaña en el contexto internacional del programa VAG y de las redes asociadas, constituye el eje central de este artículo.

Antecedentes

El Observatorio de Izaña se inaugura en 1916 e inicia su andadura como observatorio meteorológico de montaña. Su creación fue animada por un agente externo: siete años antes los alemanes habían establecido una estación meteorológica permanente en las Cañadas del Teide, en un emplazamiento cercano al que ocupa actualmente el Observatorio de Izaña. Desde 1916 a 1984 este Observatorio continúa con su actividad en meteorología sinóptica y climatología pero es testigo, al mismo tiempo, de numerosos experimentos e investigaciones atmosféricas que franceses, alemanes, británicos y estadounidenses desarrollaron en el Observatorio y sus proximidades. Para conocer detalles de esta etapa recomiendo encarecidamente consultar el libro de Fernando de Ory (2007) titulado «El Observatorio Atmosférico de Izaña en Tenerife (1909-1984): historia y vida de una institución científica española». En 1984, y por iniciativa alemana de nuevo, el Observatorio de Izaña se incorpora en la Red de Vigilancia de la Contaminación de Fondo (BAPMoN; Background Monitoring Pollution Network) con un número de programas muy reducido (CO₂, CH₄, núcleos Aitken y O₃ superficial). En el periodo 1984-1990 el Observatorio produce los primeros datos que, casi de manera exclusiva, son explotados científicamente por alemanes y estadounidenses. En 1990 las antiguas redes de observación desarrolladas bajo el auspicio de la OMM, la BAPMoN y el Sistema Mundial de Observación del Ozono (GO3OS; Global Ozone Observation System), se fusionan para crear un nuevo programa denominado Vigilancia Atmosférica Global (VAG). Esta fusión iba a significar mucho más que un simple cambio en la gestión operativa de las redes de observación atmosférica a nivel internacional.

Evolución del programa de Vigilancia Atmosférica Global

Las redes BAPMoN y GO3OS empezaron a ser cuestionadas y, hasta cierto punto, ignoradas por la comunidad científica. Había dos motivos principales: por un lado la calidad de los datos procedentes de un gran número de estaciones de estas redes era dudosa o desconocida, y por otro, las nuevas técnicas y metodologías de observación, mucho más avanzadas y sofisticadas, eran rápidamente incorporadas en nuevas estaciones y

redes de investigación atmosférica, pero no por estas redes auspiciadas por la OMM, y en las que participaban mayoritariamente los Servicios Meteorológicos Nacionales (SMNs). La creación del programa VAG supuso el inicio de un cambio sin precedentes que la NOAA (Estados Unidos) había ya iniciado varias décadas antes.

El Programa de la VAG establece, en definitiva, una red de estaciones de importancia global situadas en lugares remotos tratando de cubrir las diferentes regiones de la Tierra, pero con unos rasgos diferenciales respecto a las redes que le precedieron, y respecto a las redes operativas de calidad del aire, con las que en muchas ocasiones se venía confundiendo. Las nuevas características del Programa VAG son las siguientes:

- Trata de impulsar e implantar programas de observación científica en los que participan y cooperan Universidades y otros centros de investigación. De este modo se incorporan al Programa los enormes adelantos técnico-científicos desarrollados por instituciones de marcado perfil científico, complementando los aspectos más operativos y de aseguramiento de programas a medio plazo que caracterizan a los servicios meteorológicos nacionales.
- Se introduce una visión multidisciplinar a la hora de abordar la investigación de procesos atmosféricos: la colaboración de meteorólogos, físicos, químicos y especialistas en otras disciplinas no solo es deseable, sino imprescindible.
- Incorpora «modus-operandi» propios del mundo de la investigación. La publicación de resultados en reuniones científicas y en revistas internacionales arbitradas es un objetivo preferente. ¿Por qué? Muy sencillo: los informes internacionales que se elevan a los tomadores de decisiones, como por ejemplo, el informe sobre cambio climático del IPCC, el de la situación de la capa de ozono de la UNEP/OMM, de los informes sobre calidad del aire de EMEP y la EPA, etc., se basan, a su vez, en informes científicos del estado del arte en cada materia, que se elaboran teniendo en cuenta, exclusivamente, los resultados expuestos en artículos científicos publicados en revistas internacionales arbitradas. Por tanto, los retornos más destacados y la mayor visibilidad para una organización que invierte e investigación, se consiguen cuando sus miembros logran publicar artículos de impacto internacional.
- La observación forma parte de la investigación. Los sofisticados instrumentos utilizados en el Programa VAG, en su mayoría prototipos o equipos comerciales modificados o con sistemas adicionales construidos por los propios investigadores, y el hecho de que para un investigador los instrumentos no pueden ser «cajas negras», hacen que la observación difiera totalmente del concepto clásico de observación manejado por los servicios meteorológicos, y sea indivisible del proceso mismo de investigación. Así puede resultar chocante ver cómo «operadores» de equipos son afamados investigadores a nivel internacional.
- El Programa VAG no se limita a producir datos y enviarlos a unas bases de datos internacionales, también debe explicar los procesos atmosféricos que observa, entre otras cosas porque la utilización de los datos producidos constituye el mejor control de calidad de los mismos. Por esta razón la modelización se incorpora al programa VAG y trabaja de forma sinérgica con la observación. Prácticamente hoy día todo se modeliza. Se dice que no somos capaces de comprender un proceso hasta que no somos capaces de reproducirlo, y eso solo es posible hacerlo mediante modelos. El Programa VAG utiliza todo tipo de modelos en todos sus programas: fotoquímicos, de transferencia radiativa, de fuentes, meteorológicos (lagrangianos y eulerianos), de flujos de intercambio atmósfera-océano-biota, etc. En algunos casos los modelos se utilizan como parte del control de calidad de las observaciones.
- En el nuevo concepto del programa VAG, tal y como se puede desprender de los puntos anteriores, se requiere personal de mayor cualificación. De hecho hoy día, el desarrollo de un determinado programa de vigilancia e investigación depende total-

mente de la disponibilidad de investigadores expertos en las disciplinas propias del programa. La dotación de instrumentación y equipamiento científico es condición necesaria, lógicamente, pero no suficiente. Podemos comprobar cómo algunas estaciones VAG languidecen en el contexto internacional por no disponer del personal adecuado para hacer funcionar correctamente los equipos o para generar información de valor añadido que pueda ser utilizado por la comunidad científica internacional y por las diferentes Agencias encargadas de elaborar informes mundiales.

- Se siguen procedimientos estándares internacionales que son publicados en Notas Técnicas del Programa VAG para cada parámetro y que son revisadas periódicamente. Los Procedimientos de Operación Estándar, redactados por expertos internacionales en cada materia, constituye manuales de base para la operación de los equipos.
- Existe completa disponibilidad para consultar aspectos técnicos con expertos designados para cada programa por la OMM que pertenecen a diferentes instituciones. Generalmente los expertos trabajan en diferentes centros de calibración y de control de calidad que pertenecen al programa VAG.
- El control de calidad es realizado mediante auditorías externas llevadas a cabo por agencias internacionales independientes. En estas auditorías se comprueba y calibran no solo los instrumentos, sino también el equipamiento auxiliar (entrada de aire, sistema de calibración interno) y el sistema de adquisición de datos. Asimismo se valora la formación del personal a cargo de los equipos, y se examina la documentación asociada a cada equipo (listados de chequeos y libros de incidencias). El control de calidad interno es, en definitiva, auditado por un control de calidad externo e independiente, y los resultados de la auditoría se plasman en informes públicos accesibles vía web por cualquier ciudadano (ver, por ejemplo el informe http://www.empa.ch/gaw/audits/IZO_2004.pdf).
- Los equipos e instrumentos son calibrados por equipos e instrumentos de referencia establecidos por la OMM para cada parámetro. Para algunos parámetros se trata de instrumentos patrón mantenidos por los centros mundiales o regionales de calibración, mientras que para otros parámetros se utilizan mezclas de gases de referencia producidos por alguna institución o laboratorio designado por la OMM.
- Los datos son libremente distribuidos en centros de datos mundiales establecidos por la OMM y por redes asociadas (NDACC, AERONET, MPLNET, GlobalView) y son accesibles por la comunidad científica. Hoy día, y siempre que sea posible, se trata de enviar datos en tiempo cuasi-real, en una versión 1.0 con una depuración automática mínima.

Este nuevo concepto de VAG ha supuesto un notable impulso para determinadas estaciones VAG de importancia global gestionadas por los países desarrollados, de tal modo que se han convertido en «supersites» y/o centros de investigación. Por citar solo algunos: el Observatorio de Mauna Loa, gestionado por la NOAA (www.mlo.noaa.gov/), el Arctic Research Center (ARC; hasta hace poco conocido como «Sodankylä Observatory»; www.fmi.fi/view/research_polar/polar_2.html) del Servicio Meteorológico Finlandés, el Observatorio de Hohenpeissenberg del Instituto Meteorológico Alemán, o la estación de Macehead en Irlanda (<http://www.macehead.org/>). Solo en los «supersites», donde se mide un gran número de componentes químicos y parámetros físicos con gran calidad, es posible estudiar complejos procesos físico-químicos atmosféricos. Pero en este nuevo impulso ha contribuido de forma muy notable un nuevo elemento: la observación desde el espacio. Un porcentaje enorme de la observación es ya realizada desde el exterior de la atmósfera, y en las próximas décadas la teledetección constituirá, como mínimo, el 95% de la observación total de la Tierra. Esto no es solo porque desde el espacio se pueda observar en

poco tiempo todo el globo, y especialmente aquellas zonas sin observaciones terrestres (océanos, desiertos y montañas), sino porque se ponen en órbita ya sofisticados espectro-radiómetros que barren gran parte del espectro UV, visible e infrarrojo pudiendo medir, teóricamente, casi cualquier molécula. Sin embargo la instrumentación a bordo de satélites necesita instrumentación más precisa en tierra con la que compararse y validarse durante toda su vida útil, con el fin de corregir derivas y errores. Esto significa que los «supersites» deben ser capaces de medir un gran número de parámetros y hacerlo en la columna atmosférica, o bien conocer su distribución vertical, ya que es así como se mide desde los satélites. Las estaciones de tierra aseguran, además, el solape de medidas de sucesivos sensores espaciales. Sin embargo, para validar sensores espaciales no es necesario disponer de un gran número de estaciones en tierra. Es mucho más conveniente un conjunto reducido de estaciones selectas, representativas de diferentes regiones de la Tierra, y en donde se desarrollen programas de medida muy completos (y complejos) con gran calidad. Por estos motivos la colaboración entre los «supersites» y la comunidad de satélites es cada día más estrecha.

Sin embargo los nuevos rasgos del programa VAG no implican necesariamente mejoras para todos. Precisamente estos avances registrados por las estaciones VAG gestionadas en los países más desarrollados (norte América, Europa, Sudáfrica, Australia y China) son inasumibles, tanto por su coste económico como por sus requerimientos en personal de alta cualificación, por parte de las estaciones situadas en países en desarrollo. De hecho, la evolución de las estaciones VAG de importancia global en los últimos años ha sido muy desigual, y se observan diferencias muy notables entre los «supersites» y las estaciones VAG en países en desarrollo. Sin embargo, se da la circunstancia de que en muchas ocasiones, para entender procesos atmosféricos globales, es mucho más interesante disponer de «supersites» en regiones subtropicales y ecuatoriales, donde se encuentran los países menos desarrollados, que en latitudes medias y altas (países más desarrollados) donde ya se constata una superabundancia de observaciones y redundancia de medidas. Para tratar de corregir esta situación el programa VAG ha establecido un tipo de cooperación denominado «twinning» (algo así como «hermanamiento»), por el cual estaciones o instituciones científicas de los países más desarrollados y con mayor potencial económico, ayudan a medio o largo plazo, con instrumentación, mantenimiento de programas, asesoramiento técnico, etc. a estaciones VAG de países en vías de desarrollo. Esta es una nueva forma de cooperación al desarrollo que redundará en una mejora en el conocimiento de la atmósfera global.

El programa VAG es actualmente coordinado por AREP (Atmospheric Research and Environment Programme; (<http://www.wmo.int/pages/prog/arep/>) de la OMM. El otro programa que gestiona AREP es el WWRP (World Weather Research Program), incluyendo el programa THORPEX (The Observing System Research and Predictability Experiment). AREP coordina estos programas siguiendo las directrices de la Comisión de Ciencias Atmosféricas. Esta organización y el perfil de los funcionarios que trabajan en AREP/OMM muestran claramente el carácter científico del programa VAG, que es planificado a medio plazo mediante Planes Estratégicos. El actual cubre el periodo 2008-2015 (WMO; 2007). El Programa VAG descansa en los siguientes componentes: a) las Estaciones VAG; b) Los Centros de Calibración y Calidad de Datos; c) Los Centros Mundiales de Datos; y d) los grupos científicos externos para asesoramiento científico (Scientific Advisory Groups). La información de las estaciones VAG puede obtenerse a través de Gawsis: www.empa.ch/gaw/gawsis/ mantenido por el EMPA (Suiza) y el Servicio Meteorológico Suizo (MeteoSwiss).

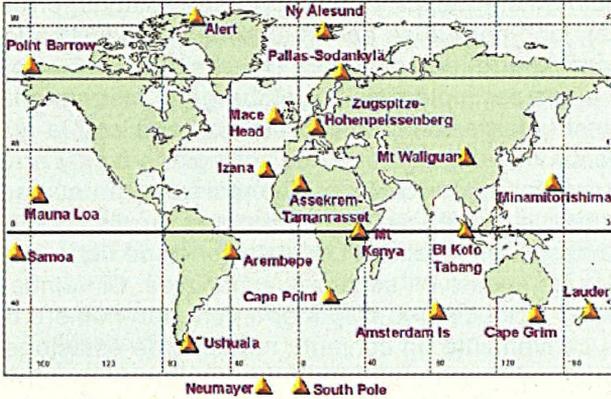


Fig. 1. Red de estaciones del Programa de Vigilancia Atmosférica Global

El Observatorio de Izaña. El Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (CIAI), hoy

El Observatorio de Izaña (IZO) pertenece a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), y es gestionado por el Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (CIAI). Hoy día en IZO no solo se realizan observaciones meteorológicas convencionales (iniciadas en 1916) sino que, desde 1984, se llevan a cabo importantes programas de observación e investigación atmosférica. El CIAI posee una estación complementaria en Santa Cruz de

Tenerife (SCO) donde se desarrolla también un importante programa de observación científica sobre gases reactivos, aerosoles y ozono estratosférico (en columna y perfiles verticales).

El CIAI tiene como misión detectar y vigilar a largo plazo los cambios que se observan en la composición de la atmósfera, así como investigar las causas de estos cambios. Estas actividades constituyen el primer escalón de la investigación sobre el cambio climático. Las líneas de investigación del CIAI son: 1) el estudio de gases de efecto invernadero; 2) los aerosoles, ambas líneas íntimamente relacionadas con procesos de calentamiento y enfriamiento en la atmósfera; 3) el seguimiento de la capa de ozono y de los compuestos que la destruyen; y 4) la calidad del aire, incluyendo el transporte de contaminación intercontinental.

El CIAI desarrolla sus actividades en el marco de programas internacionales entre los que caben ser destacados el de la VAG y el programa de la Red para Detección de los Cambios en la Composición Atmosférica (NDACC; Network for the Detection the Atmospheric Composition Change; www.ndsc.ncep.noaa.gov/). Ambos programas de observación e investigación son complementarios y están asociados. Mientras el primero se basa tanto en medidas «in-situ» como en la utilización de técnicas de teledetección, el programa de NDACC utiliza exclusivamente técnicas de teledetección, ya que prioriza el estudio de la alta troposfera y la estratosfera, y además tiene como segundo objetivo el proporcionar un sistema de calibración independiente para los sensores atmosféricos abordo de satélites. El CIAI También forma parte de otras redes de científicas, mantenidas por otras instituciones, y asociadas al programa VAG (AERONET, PHOTONS, MPLNET, etc.).



Fig. 2. El Observatorio de Izaña (2360 m s.n.m)

El CIAI es actualmente una Unidad Asociada del Consejo

Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), a través del Instituto de Ciencias de la Tierra «Jaume Almera». Esta Unidad Asociada tiene como principal objetivo realizar investigaciones sobre contaminación atmosférica, prestando especial atención a los aerosoles.

El CIAI en la Vigilancia de los gases de efecto invernadero

En el CIAI se miden de forma continua, y bajo estrictos protocolos de calidad internacionales, los gases de efecto invernadero (GEI) «in-situ» bajo condiciones de fondo de troposfera libre (CO_2 , CH_4 , N_2O , O_3 troposférico y SF_6) que ocasionan el 95% del calentamiento por forzamiento radiativo originado por la actividad humana. Los programas de CO_2 y CH_4 comenzaron en 1984, por lo que en 2009 se cumplirán 25 años de vigilancia ininterrumpida de estos gases. La información sobre estos componentes, además de ser enviados al Centro Mundial de la OMM de datos de gases de efecto invernadero, mantenido por la Agencia Meteorológica Japonesa (<http://gaw.kishou.go.jp/>), forman parte activa del Proyecto GlobalView de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration; EEUU; <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/globalview/>). Este proyecto tiene como objetivo el de obtener productos de CO_2 , CH_4 y otros gases de efecto invernadero a nivel mundial para realizar estimaciones de flujos, fuentes y sumideros de GEIs y caracterizar la distribución global de estos gases. En GlobalView- CO_2 participan 23 laboratorios de solo 15 países, y en GlobalView- CH_4 , solo 13 laboratorios de 12 países. El N_2O y el SF_6 son medidos de forma continua por menos de media docena de Observatorios en todo el mundo.

Por otro lado, en el CIAI se investiga con un espectrofotómetro FTIR (Fourier Transform Infrared) en colaboración con el IMK-Karlsruhe Forschungszentrum, desde 1993. Con este equipo es posible medir con gran precisión gases de efecto invernadero y CFCs en toda la columna atmosférica hasta unos 50 km de altitud. Con él se participa en la recién creada red TCCON (Total Carbon Column Observing Network; <http://www.tccon.caltech.edu/>) que tiene como finalidad

la de validar la nueva generación de sensores atmosféricos que vuelan a bordo de satélites para la vigilancia del CO_2 en columna a nivel mundial. Tan solo existe una docena de equipos operativos en todo el mundo y solo cinco, entre los que se encuentra el de Izaña, son de las más altas prestaciones técnicas. Esta red, así como los satélites que se mencionan tienen como objetivo prioritario valorar el cumplimiento de Protocolos internacionales encaminados a reducir la emisión de GEI's, como es el caso del Protocolo de Kyoto.

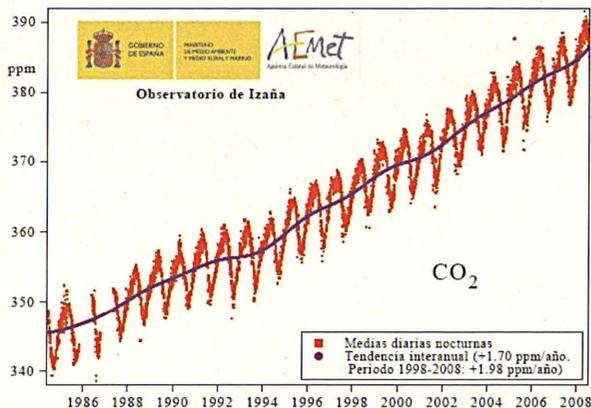


Fig. 3. Serie de dióxido de carbono del Observatorio de Izaña

El vapor de agua es el gas de efecto invernadero más importante. Desde hace años se vigila y estudia su evolución tanto «in-situ» como en la columna atmosférica. En el CIAI, además de observarlo como parte del programa clásico de observación meteorológica, se mide en columna mediante diferentes técnicas, como fotometría solar y FTIR,

y realiza un seguimiento de su distribución vertical mediante los radiosondeos (dos días) desde 1980, y actualmente también mediante técnicas de inversión con FTIR. Recientemente ha sido instalado, en colaboración con el Instituto Geográfico Nacional (IGN), un GPS-GLONASS que se encuentra integrado en EUREF (www.euref.eu) con el fin de medir vapor de agua. Las características de Izaña y la disponibilidad en el mismo de diferentes técnicas independientes para medir este componente, hacen que Izaña se convierta en un punto ideal de calibración y control de calidad de medidas de vapor de agua con GPS/GNSS en el marco del proyecto europeo E-GVAP (the EUMET-NET GPS water vapour Programme).

El CIAI y el seguimiento de «la capa de ozono»

En el CIAI se mide el ozono total en columna y radiación UV espectral desde 1991 mediante espectrofotometría UV, y también perfiles verticales de ozono desde 1992. Con estos programas se estudia y vigila la evolución de lo que popularmente es conocido como la «capa de ozono» y su relación con la tropopausa y con la posición del chorro subtropical. Además, desde 1993 se miden otros componentes en la estratosfera que están íntimamente relacionados con los procesos de destrucción del ozono como NO₂, BrO y OClO mediante la técnica DOAS (UV-VIS), en colaboración con el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, y desde 1999, media docena de compuestos (HF, HNO₃, NO, NO₂, ClONO₂, HCl) mediante la técnica FTIR (Fourier Transform Infrared) con el Centro IMK-ASF, Forschungszentrum Karlsruhe, de Alemania. Todos estos programas forman parte de NDACC.

El ozono total en columna es vigilado a nivel global desde tierra básicamente por dos redes de observación: una basada en antiguos espectroradiómetros Dobson operados manualmente, y otra, más moderna y automatizada, basada en espectrofotómetros Brewer, que además miden radiación UV espectral. En noviembre de 2003 se estableció en Izaña el Centro Regional de la OMM de Calibración de espectrofotómetros Brewer para Europa (RBCC-E; www.rbcc-e.org). En la actualidad el RBCC-E está equipado con una triada de espectrofotómetros Brewer de referencia que está vinculada a la triada de referencia mundial del Servicio Meteorológico de Canadá (MSC). El RBCC-E realiza anualmente campañas de intercomparación en alguna estación europea para transferir la calibración a instrumentos Brewer de la red (GAW Report 176). Asimismo participa en campañas específicas para la validación de sensores que vuelan a bordo de satélites. Las dos últimas financiadas por NASA tuvieron lugar en Sodankyla (Finlandia) en 2006 y 2007 (Misión SAUNA; <http://fmiarc.fmi.fi/SAUNA/>). El RBCC-E también mantiene la aplicación «Iberonesia», basada en una web externa (www.iberonesia.net), con la que se pueden gestionar, y acceder en tiempo real a las observaciones científicas y a los controles de calidad de espectrofotómetros Brewer de Canarias, Marruecos y Portugal, en la región Macaronésica.

El CIAI, con la instrumentación anterior (Brewer, ozonosondas, DOAS y FTIR), es una excelente plataforma de investigación para desarrollar nuevas técnicas y metodologías para la medida del ozono y componentes relacionados, así como para su intercomparación. Un aspecto especialmente relevante en esta línea de trabajo es el de la validación de medidas atmosféricas obtenidas desde: GOME (satélite ERS2), GOMOS, SCIAMACHY y MIPAS (satélite ENVISAT) de la Agencia Espacial Europea (ESA), y OMI/AURA (NASA).

El CIAI y la investigación en Aerosoles atmosféricos

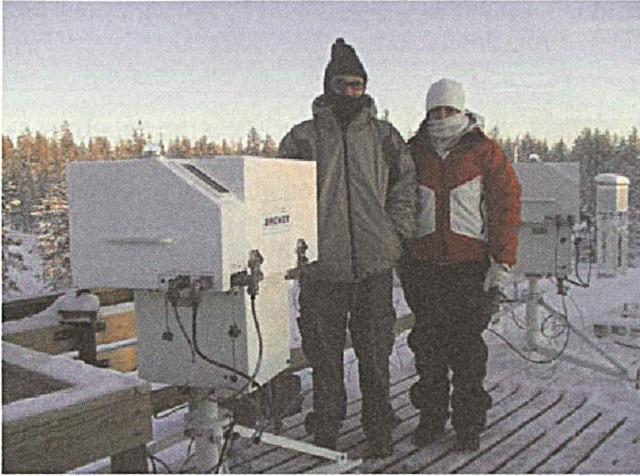


Fig. 4. Alberto Redondas (Investigador principal de RBCC-E) y Carmen Guirado con el espectrofotómetro Brewer patrón del RBCC-E en Sodänkyä (Finlandia) durante la campaña SAUNA (marzo 2007)

Los aerosoles (partículas líquidas o sólidas en la atmósfera) son de gran importancia tanto por sus efectos nocivos en la calidad del aire como por su capacidad para calentar o enfriar la atmósfera (forzamiento radiativo), dependiendo de su naturaleza y composición. En el contexto del cambio climático los aerosoles juegan hoy día un papel casi tan importante como los GEIs. Sin embargo existe aun un conocimiento muy limitado sobre sus efectos. Por ello los países más desarrollados están invirtiendo una gran cantidad

de recursos humanos y materiales en incrementar los programas de observación e investigación sobre aerosoles atmosféricos.

La red mundial AERONET (Aerosol Robotic Network), gestionada por el «Godard Space Flight Center» de la NASA (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>) tiene dos misiones, por un lado caracterizar los aerosoles atmosféricos a nivel mundial, y su capacidad de forzamiento radiativo, y por otro validar los sensores encargados de medir aerosoles desde el espacio. El Observatorio de Izaña es uno de los dos Centros de calibración de AERONET (el otro es Mauna-Loa –NOAA-) y de la red europea PHOTONS («PHOtométrie pour le Traitement Opérationnel de Normalisation Satellitaire»; CNRS/Universidad de Lille, Francia; www.loa.univ-lille1.fr/photons). En el Observatorio de Izaña se calibran los instrumentos patrones de las redes PHOTONS/AERONET y RIMA/AERONET, jugando un papel destacado en el control de calidad de las medidas de aerosoles a nivel mundial. Además participa en la red AERONET/PHOTONS con tres instrumentos, uno en el Observatorio de Izaña, otro en la estación complementaria de Santa Cruz de Tenerife y un tercero en la estación VAG de Tamanrasset (Argelia).

Por otro lado en el Observatorio de Izaña, y en el Observatorio complementario de Santa Cruz de Tenerife, se encuentra uno de los programas más completos del mundo para la medida de aerosoles «in-situ». En estos laboratorios se obtiene información sobre su concentración y número (desde las nanopartículas a las partículas de 10 micras), así como características físicas, composición química (más de 30 componentes) y propiedades ópticas. También se obtiene de forma continua la distribución vertical de aerosoles y nubes mediante un lidar del Área de Investigación e Instrumentación Atmosférica del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), que se encuentra integrado en la red Micro-Pulse Lidar NETwork (MPLNet; <http://mplnet.gsfc.nasa.gov/>), perteneciente a la NASA. Es el único lidar europeo integrado en esta red, y con él se estudia, por ejemplo, la capa de aire sahariana que se caracteriza por presentar altas concentraciones de partículas en suspensión.

El programa sobre aerosoles se completa con la caracterización de los aerosoles de naturaleza biológica, es decir, pólenes y esporas de hongos que se registran en Santa Cruz de Tenerife (<http://lap.uab.cat/aerobiologia/es/localitats/l?estacio=TNF>) y en Izaña.

Este programa incluye el estudio de aquéllos pólenes y esporas de hongos foráneos procedentes de África.

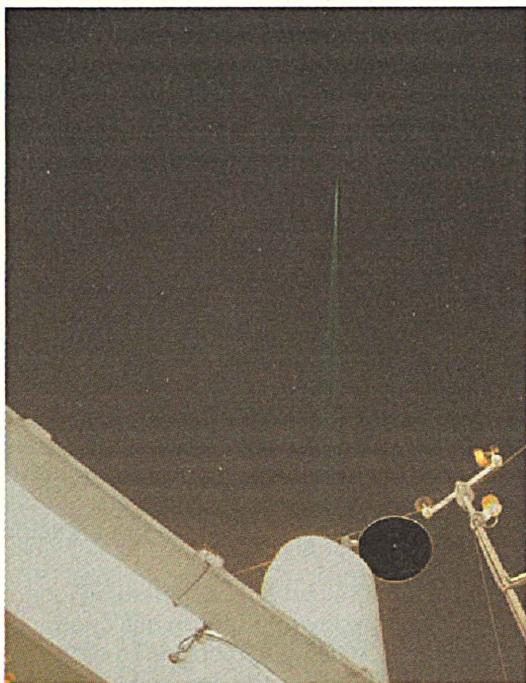


Fig. 5. Lidar de asesores del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

El CIAI y la calidad del aire

Hoy día la contaminación atmosférica, nociva para los seres vivos, traspasa los confines de las ciudades y áreas industriales convirtiéndose en un problema global. La creciente intensidad de las fuentes de contaminación, extendidas ya en grandes regiones de la Tierra, y los procesos de transporte de largo recorrido hacen que la vigilancia y estudio de la contaminación sea abordado desde una perspectiva mundial, y por ello, desde satélites. Por otro lado se van conociendo poco a poco cada vez más detalles sobre las numerosas y complejas interacciones entre el cambio climático y la calidad del aire a nivel mundial.

El CIAI posee un amplio programa de medida de gases reactivos (O₃ superficial, CO, NO-NO₂, SO₂, y aerosoles «in-situ») tanto en Izaña (troposfera libre) como en la estación de fondo urbano de Santa Cruz de Tenerife (donde además se mide Benceno, Xileno y Tolueno con técnica DOAS), y se han efectuado campañas especiales para caracterizar otros contaminantes más esca-

sos. Con algunos de estos programas se ha participado en trabajos de revisión de ámbito global de gran impacto. Como unidad Asociada al CSIC coopera en programas de calidad del aire, a nivel regional, con el Gobierno de Canarias. Las investigaciones más recientes tratan sobre la contaminación producida por los vehículos, especialmente los diesel, proponiendo nuevas metodologías y técnicas para realizar una adecuada vigilancia y valoración de la contaminación por aerosoles atmosféricos ocasionados por éstos. Otras líneas de investigación son el estudio del impacto de las intrusiones de masas de aire africano sobre la calidad del aire, y del impacto sobre el medio marino en el océano Atlántico norte subtropical.

El CIAI, en el marco del Proyecto GURME (GAW Urban Research Meteorology and Environment) de la OMM, realiza desarrollos de modelos estadísticos y dinámicos de difusión y transporte de contaminantes de origen industrial (SO₂). Además colabora con el Barcelona Supercomputing Center - Centro Nacional de Supercomputación (BSC-CNS; www.bsc.es), y el CSIC en la vigilancia, predicción y validación de intrusiones de polvo atmosférico de origen mineral en el norte de África, próximo oriente y Europa. Esta actividad es realizada como miembro del Centro Regional del Sistema de Alerta de Tormentas de Arena y Polvo de la OMM. Asimismo, y en el marco de un Convenio de colaboración para el estudio y evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado en suspensión en España entre el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y el CSIC, participa en el sistema de alertas especializadas de intrusiones de material particulado procedente de África enfocadas a su utilización por parte de los gestores de redes de calidad del aire de las Comunidades Autónomas (www.calima.ws). Asimismo el CIAI

ha participado activamente en investigaciones sobre la caracterización físico-química de aerosoles atmosféricos en el ámbito nacional.

El CIAI en la cooperación internacional

Otro aspecto destacable de la actividad del CIAI es el relacionado con la cooperación con instituciones y estaciones de otros países. El CIAI gestiona, conjuntamente con el INTA, una red de radiómetros multi-canal de banda estrecha (NILU-UV6) instalada en 1999 en las bases argentinas de Belgrano (78°S), Marambio (64°S) y Ushuaia (55°S), en colaboración con la «Dirección Nacional del Antártico» (DNA/IAA, Argentina) y el «Centro Austral de Investigaciones Científicas» (CADIC, Argentina). Estas estaciones son de gran interés para el estudio del ozono y la radiación UV en la atmósfera antártica. Se pueden conocer detalles sobre estos programas en www.polarvortex.org y www.spain.oracle-o3.org. En relación con esta red, y en el marco del Programa VAG, el CIAI ha colaborado en la implementación del programa de medidas de la estación VAG de Ushuaia (Argentina). En abril de 2008, en colaboración con el INTA, con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Argentina) y el Gobierno de Tierra del Fuego (Argentina), se instaló una estación de ozonosondeos. En el contexto antártico el CIAI ha formado técnicos, ha reparado, calibrado y ha ayudado a instalar un espectrofotómetro Brewer del Instituto Antártico Uruguayo en Base Artigas (Antártida). Las observaciones antárticas son referenciadas en los Boletines antárticos elaborados por la OMM y disponibles en: www.wmo.int/pages/prog/arep/WMOAntarcticOzoneBulletins2008.html

Por otro lado se ha establecido un acuerdo de colaboración científica (proyecto SALAM) con la estación VAG de Tamanrasset/Assekrem (Argelia) mediante el cual se instaló en 2006 un fotómetro solar Cimel en dicha estación para estudiar la Capa de Aire Sahariana. Este instrumento, integrado en la red PHOTONS/AERONET es gestionado conjuntamente por el CIAI y la «Office National de la Meteorologie» de Argelia. Próximamente, y con financiación de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), el CIAI instalará una espectrofotómetro Brewer en Tamanrasset, un radiómetro multicanal en Assekrem (estación de alta montaña situada al norte de Tamanrasset), y tres fotómetros Cimel en Egipto, Túnez y sur de Marruecos, respectivamente.

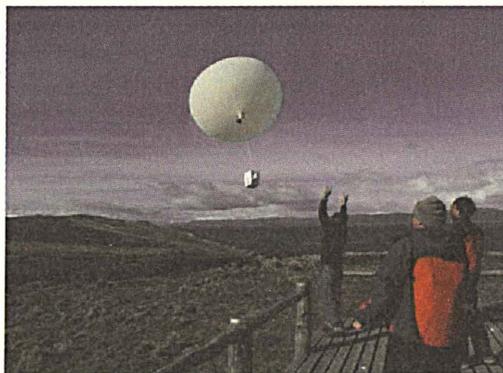
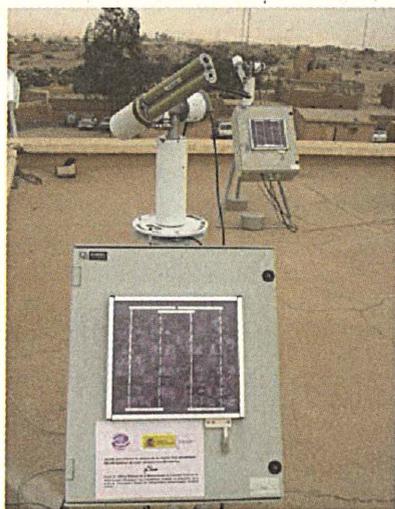


Fig. 6. Fotómetro solar instalado en Tamanrasset (Argelia) en septiembre de 2006, a la izquierda, y primer ozonosondeo en Ushuaia (Argentina) en abril de 2008, a la derecha.

Por último, se acaba de aprobar un proyecto de colaboración con el Instituto de Meteorología de Portugal por el que el CIAI y la red AZONET (Azores Observation Network) cooperarán en actividades relacionadas con el ozono, la radiación y los aerosoles en Canarias, Madeira y Azores, creando una red de vigilancia e investigación atmosférica en la Macaronesia.

El CIAI: resultados de un nuevo enfoque

Los resultados obtenidos por el CIAI en los últimos años son muy notables. Si utilizamos como indicador, normalmente empleado en la valoración investigadora, el número de publicaciones en revistas científicas arbitradas incluidas en el SCI (Science Citation Index), podemos constatar un espectacular ascenso en la producción científica: 1 artículo publicado en el periodo 1984-1994 (0.1 artículos/año), por 60 artículos en el periodo 1995-2008 (4.3 artículos/año). Además, desde 1995 se han defendido 8 tesis doctorales basadas en investigaciones y/u observaciones realizadas en el CIAI, y en la actualidad se encuentran en desarrollo otras 8 tesis doctorales. Un total de 14 instituciones (7 nacionales y 7 extranjeras) mantienen programas de investigación en el CIAI, y éste participa en programas de investigación atmosférica en 6 países, colaborando con un total de 27 instituciones científicas (10 nacionales y 17 extranjeras). El número de proyectos financiados por el Plan nacional de I+D (10) y por los diferentes «Programas Marco» Europeos (10) también ha sido muy notable a partir de 1995.

El CIAI se ha convertido en una plataforma de investigación atmosférica multi-institucional y multidisciplinar, de importancia internacional. La clave de esta situación la encontramos en una lenta, pero continua, adaptación a las nuevas reglas del juego establecidas en la vigilancia e investigación atmosférica internacional, y que no son otras que la excelencia científica. En este proceso el factor humano es esencial ya que los equipos de investigación solo se crean y consolidan después de un trabajo constante y continuo a lo largo de muchos años. Por ello, esta nueva etapa del CIAI no hubiera sido posible en modo alguno sin la convicción, el decidido apoyo, el generoso esfuerzo, y el entusiasmo del personal del CIAI. Su más valioso e imprescindible activo.

Referencias

DE ORY, F., *El Observatorio Atmosférico de Izaña en Tenerife (1909-1984): historia y vida de una institución científica española*, Publicación nº 162 de la **Serie A (Memorias) de la Agencia Estatal de Meteorología**; ISBN 978-84-8320-400-962, 173 pp, 2007.

WMO GAW Report 172, WMO/GAW Strategic Plan: 2008-2015 - *A Contribution to the Implementation of the WMO Strategic Plan: 2008-2011*, (**WMO TD No. 1384**), 2007.

WMO GAW Report 176, *The Tenth Biennial WMO Consultation on Brewer Ozone and UV Spectrophotometer Operation, Calibration and Data Reporting*, Northwich, United Kingdom, 4-8 June 2007, (**WMO TD No. 1420**), 2007.