

# Vigilancia mundial del ozono atmosférico

por Johannes Staehelin\*

## Introducción

**Las moléculas de ozono se concentran en su mayor parte en la estratosfera, a altitudes de entre 10 y 40 km.** Estas moléculas determinan la estructura térmica de la estratosfera y, en la medida que absorben la dañina radiación ultravioleta, protegen la vida en este planeta.

Aunque en la década de 1920 se realizaron observaciones aisladas de ozono, las medidas de forma sistemática no comenzaron hasta hace tan solo unos 50 años. En la actualidad, son más de 70 agencias de cerca de 50 países Miembros de la OMM las que contribuyen a llevar a cabo las observaciones de ozono en el marco de la Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) de la OMM, lo que supone contar con datos fundamentales para comprender el estado de la capa de ozono y los cambios que se producen en la misma. Estos datos han comenzado a analizarse cuidadosamente en el momento en que, a principios de la década de 1970, los descubrimientos científicos han puesto de manifiesto el potencial de los clorofluorocarbonos (CFC) y de los halógenos para destruir el ozono con graves consecuencias para el medio ambiente.

Sin embargo, no fue hasta mediados de los años ochenta del pasado siglo cuando se obtuvieron pruebas concluyentes de la destrucción del ozono según quedó de manifiesto con el dramático descenso del ozono durante la primavera antártica. Este descubrimiento lo realizaron científicos británicos en 1985 al llevar a cabo medidas en tierra desde la estación Halley, situada a 76°S, donde

se habían efectuado observaciones de ozono desde 1956.

A lo largo de los últimos 20 años, la OMM, en colaboración con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), ha coordinado la preparación de varias evaluaciones científicas, la última de las cuales se ha publicado a principios de 2007. Estas evaluaciones se basan en los resultados del trabajo de cientos de científicos, tanto de los países desarrollados como de los países en vías de desarrollo, y en las contribuciones de numerosas agencias nacionales. Las medidas terrestres juegan un papel esencial, tanto para los estudios de tendencias en diversas regiones del mundo como también para verificar sobre el terreno las medidas de satélite. Estas evaluaciones proporcionaron la base de las negociaciones encabezadas por el PNUMA para firmar el Convenio de Viena sobre la Protección de la Capa de Ozono (1985) y su Protocolo de Montreal (1987). Actualmente, estas evaluaciones conforman el pilar sobre el que realizar las correcciones y modificaciones necesarias al Protocolo de Montreal, las últimas de ellas acordadas en Montreal en septiembre de 2007. El actual Protocolo de Montreal exige reducciones drásticas en el uso de CFC y halógenos así como una retirada progresiva y acelerada de los hidroclorofluorocarbonos.

De acuerdo con los informes más recientes de la OMM y el PNUMA sobre Evaluación científica del agotamiento del ozono, la recuperación a largo plazo de la capa de ozono de los efectos provocados por las sustancias que la destruyen no se espera que ocurra hasta bien entrado el siglo XXI. Se estima que esto tenga lugar en torno al año 2050 en las latitudes medias y alrededor de 2065 en el Antártico. Estas cifras suponen cinco y

15 años más tarde, respectivamente, que la previsión de la Evaluación anterior (2002).

Un fracaso a la hora de cumplir el Protocolo de Montreal retrasaría, o incluso podría impedir, la recuperación de la capa de ozono. Por consiguiente, es de suma importancia continuar realizando observaciones sistemáticas y de alta calidad de la capa de ozono en todas las regiones del mundo. Asimismo, cada vez se hace más evidente que existen importantes vínculos entre la disminución de la capa de ozono y el cambio climático. El propio ozono, las sustancias que destruyen la capa de ozono y muchos de sus sucedáneos son también gases de efecto invernadero; los cambios en el ozono influyen sobre el clima y los cambios en el clima afectan al ozono.

Debido a su importancia como gas de efecto invernadero, el ozono constituye una de las variables climáticas esenciales (ECV) señaladas por el Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC). En 2007, el SMOC adoptó como redes de referencia las redes de espectrofotómetros Dobson y Brewer de la VAG y la red de globos sonda de ozono de la VAG. En este artículo se ofrece una descripción del sistema de observación del ozono de la VAG y la contribución de la red de Ozonosondas adicionales del hemisferio sur (SHADOZ) y de la Red para la detección del cambio de la composición atmosférica (NDACC).

El programa de la VAG fue creado en 1989, a partir de la unión del Sistema Mundial de Observación del Ozono (SMO<sub>3</sub>) con la Red de Control de la Contaminación General Atmosférica (BAPMoN), poniendo un énfasis cada vez mayor en garantizar la calidad y en la asociación global, y centrándose en

\* Presidente del Grupo asesor científico de la VAG sobre el ozono, Comisión de Ciencias Atmosféricas de la OMM



*Medidas Brewer realizadas en la estación argentina de San Martín, en la península antártica*

seis grupos de medidas: ozono, radiación UV, gases de efecto invernadero, aerosoles, principales gases reactivos y química de la precipitación. A lo largo del SMOO<sub>3</sub> primero, y de la VAG hoy en día, existe una historia de vigilancia mundial del ozono atmosférico (ya sea el ozono total o el perfil de ozono) que se remonta a principios de la década de 1970.

El SMOO<sub>3</sub> fue diseñado como respuesta frente a la amenaza de la destrucción antropogénica de la capa de ozono. Los primeros que analizaron la destrucción del ozono por parte del cloro fueron Stolarski y Cicerone, y Molina y Rowland, en 1974. Estos dos últimos científicos describieron antes que nadie la fuente de especies de cloro reactivo por la emisión de cloro desde los clorofluorocarbonos de origen antropogénico. En 1985 se determinó la auténtica magnitud de la disminución antropogénica del ozono, cuando Farman y otros descubrieron el agujero de ozono sobre el Antártico.

El Protocolo de Montreal de 1987 ha sido todo un éxito. Actualmente, la magnitud de las sustancias que agotan el ozono se encuentra disminuyendo lentamente (a un ritmo próximo al 1% anual) tras alcanzar un máximo a fina-

les de la década de 1990. Sin embargo, el agujero de ozono antártico de 2006 fue el mayor de que se tiene constancia y se debió al vórtice polar austral inusualmente frío y estable que tuvo lugar en la primavera austral de 2006. Esto muestra que el grado de pérdida de ozono no solo depende de la concentración atmosférica de halógenos que agotan el ozono, sino también de las condiciones meteorológicas. Asimismo, se pone de manifiesto la estrecha relación que existe entre la disminución de la capa de ozono y el cambio climático.

Las medidas de ozono total llevadas a cabo bajo el paraguas de la VAG consisten en observaciones espectrofotométricas que utilizan como fuente de luz el Sol o el cielo cenital. En la actualidad, el Centro Mundial de Datos sobre el Ozono y la Radiación Ultravioleta (WOUDC), creado en 1960, recibe con regularidad información correspondiente a las medidas de unos 80 instrumentos Dobson y alrededor de 50 instrumentos Brewer.

La información sobre los perfiles de ozono se obtiene mediante varios tipos de instrumentos que se operan desde la superficie terrestre. Las medidas realizadas por la célula electroquímica

incorporada a pequeños globos que suelen estallar a altitudes de entre 25 y 35 km, proporcionan información detallada y fidedigna hasta altitudes de en torno a los 35 km. Los perfiles de ozono también se miden con lidares e instrumentos de microondas, que tienen una particular solidez en la estratosfera y en la mesosfera.

Constituida a día de hoy por una asociación mundial que engloba a gestores, científicos y expertos técnicos de 112 naciones, la VAG está coordinada por el Comité mixto científico y directivo (CMCD) del Grupo abierto de área de programa sobre Contaminación del medio ambiente y química atmosférica (GAAP-CMAQA) de la Comisión de Ciencias Atmosféricas (CCA) de la OMM con el apoyo de la División de la OMM para la investigación sobre el medio atmosférico del Departamento de investigación.

La oficina de la VAG y su Grupo asesor científico (GAC) sobre ozono se han visto involucrados de forma activa en el apoyo al Convenio de Viena y a su Protocolo de Montreal, así como al Convenio marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNUCC), mediante contribuciones al Plan de ejecución y al Segundo informe del SMOC

(Sistema Mundial de Observación del Clima) sobre la Adecuación de los sistemas mundiales de observación del clima. El CMNUCC ha reconocido de forma oficial las variables climáticas esenciales que se necesita medir de forma sistemática a nivel mundial con el fin de afrontar los problemas más importantes, y entre ellas se encuentran el ozono total y el perfil de ozono. La OMM y el SMOC han atribuido a la VAG un papel de liderazgo como programa internacional a la hora de atender los requisitos en materia de observación del ozono. Desde octubre de 2007, las redes de Dobson, Brewer y ozonosondas conforman las redes de referencia del SMOC.

La creación de una estrategia relativa a cuestiones de composición atmosférica, al amparo de la asociación de la Estrategia integrada de observación mundial (EIOM), supone uno de los desarrollos más notables que han tenido lugar durante los últimos tres años. La estrategia IGACO (Observaciones integradas de la química atmosférica mundial) ofrece un marco para llevar a cabo observaciones globales en el seno de la Red mundial de sistemas de observación de la Tierra (GEOSS). La IGACO comprende 13 clases de variables relacionadas con la química atmosférica, siendo el ozono total y el perfil de ozono las variables más importantes. La estrategia IGACO constituye la base para la próxima generación del programa de la VAG para 2008-2015 y se pondrá en marcha por parte de la comunidad investigadora bajo la dirección de la VAG y con la colaboración del SMOC, de su Grupo de expertos sobre observaciones atmosféricas para el estudio del clima y de la GEOSS. En el Instituto Meteorológico de Finlandia se ha creado la oficina de IGACO-Ozono/UV; el plan de ejecución de IGACO-Ozono/UV se encuentra en las fases finales de análisis.

## Situación de la red

### Componentes de la red

El componente de la VAG relativo al ozono es un sistema maduro y organizado. En la página web de la OMM ([http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw\\_home\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw_home_en.html)) pueden encontrarse detalles al respecto. El GAC sobre ozono es responsable de la ejecución

del Plan estratégico de la VAG, junto con el CMCD del GAAP-CMAQA. Su misión es la de analizar y redactar directrices de medida y objetivos de calidad de datos, así como guiar a la oficina de la VAG de la OMM con respecto al mantenimiento, desarrollo y comunicación de productos y servicios de la red.

Para contribuir a esto último, numerosos centros de garantía de calidad y actividad científica realizan intercomparaciones y proporcionan auditorías y formación en los ámbitos nacional e internacional. El Sistema de información de estaciones de la VAG (GAWSYS) (<http://www.empa.ch/gaw/gawsys/>) es un servicio electrónico de consultas y mapas mantenido por el programa de la VAG de *MeteoSwiss* y por los Laboratorios federales suizos de pruebas e investigación de materiales; este servicio ofrece documentación sobre las estaciones, sus mediciones y puntos de contacto, así como información actualizada de la entrega de datos al Centro mundial de datos sobre el ozono y la radiación UV explotado por *Environment Canada*. El Centro mundial de datos sobre el ozono y la radiación UV de la VAG/OMM recopila, documenta y archiva datos e información de garantía de calidad, poniéndolos a disposición de la comunidad científica, de forma gratuita, para la realización de análisis y evaluaciones.

### Observaciones de ozono total

#### Espectrofotómetros Dobson

En el seno de la Red mundial de vigilancia del ozono atmosférico de la VAG, son aproximadamente 80 las estaciones que, de forma regular, miden el ozono total con instrumentos Dobson e informan de ello. La serie continua de datos más larga corresponde a la localidad de Arosa, en los Alpes suizos, que se remonta a 1926. Los instrumentos que se hallan en las estaciones de la red actual deben compararse regularmente (al menos una vez cada cuatro años) con instrumentos patrón regionales por medio de intercomparaciones que se llevan a cabo comparando un instrumento al lado del otro. Los instrumentos patrón regionales se comparan como mínimo en los mismos intervalos con los instrumentos Dobson primarios mundiales.

#### Espectrofotómetros Brewer

El instrumento Brewer se basa en los mismos principios básicos de medida que el espectrofotómetro Dobson pero utiliza una tecnología más moderna. Se ha venido comercializando desde mediados de 1980 y su diseño está dirigido hacia las medidas automáticas. El número de instrumentos Brewer ha aumentado a lo largo de las últimas décadas. El Patrón mundial de referencia de la VAG se basa en la tríada de instrumentos que opera *Environment Canada*. En el centro de calibración Brewer de Izaña (Tenerife), del Instituto Nacional de Meteorología de España, existe una tríada Brewer adicional. Las medidas mediante el método de "Langley plot" que se llevan a cabo en Izaña proporcionan una importante redundancia para la escala de calibración de la tríada Brewer. Los instrumentos Brewer se deben comparar con instrumentos patrón por lo menos una vez cada dos años.

#### Espectroscopía de absorción óptica diferencial en el UV-visible

En varias estaciones de la NDACC se han desplegado espectrómetros que operan en el UV-visible utilizando la técnica de espectroscopía de absorción óptica diferencial. Algunas de las estaciones emplean el instrumento SAOZ (acrónimo francés del Sistema de análisis para las observaciones cenitales) normalizado, que ha sido desarrollado por el Centro nacional de investigaciones científicas de Francia, mientras que otras usan espectrómetros de "fabricación casera". La calidad de las mediciones se comprueba con regularidad mediante intercomparaciones, en las que numerosos instrumentos se comparan uno al lado del otro. No se acepta ningún nuevo instrumento en la red hasta que no se verifique su funcionamiento en una campaña de intercomparación.

#### Medidas del perfil de ozono

##### Ozonosondas

Las medidas del perfil de ozono desde pequeños globos (de 1 200 a 2 000 g) se han llevado a cabo de forma regular mediante sensores electroquímicos desde principios de la década de 1970



y son las que emplean en la actualidad la mayor parte de estaciones.

Se han creado varias estaciones adicionales de ozonosondas en el seno del proyecto SHADOZ, que son mantenidas por la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) de los Estados Unidos. Las 13 estaciones SHADOZ se explotan de forma conjunta con la VAG.

Los sensores electroquímicos son producidos por dos fabricantes y, en la actualidad, se utilizan en la red dos concentraciones diferentes de soluto. Las dos marcas del sensor y las concentraciones de soluto afectan a las medidas del perfil de ozono. Para estudiar la influencia de estos factores sobre las medidas del perfil desde sondas electroquímicas se utilizan: intercomparaciones de sondas en la cámara de simulación ambiental del Experimento JOSIE en Jülich; intercomparaciones con muchas combinaciones de marca de sensor y concentración de soluto llevadas sobre el mismo globo portador de un fotómetro UV de referencia (por ej., campaña BESOS); y medidas de dos sondas desde el mismo globo (vuelos duales). La resolución vertical, que tiene en cuenta el tiempo de respuesta del sensor, es de unos 200 a 300 m.

Existen 25 estaciones de ozonosondas afiliadas a la NDACC. La sonda electroquímica se aceptó como sistema de medición de la NDACC en 1995. La mayor parte de estas estaciones también lo son de la VAG. La NDACC ha servido para estimular la creación de estaciones adicionales, contribuyendo a rellenar lagunas de datos de zonas remotas que de otra forma resultarían inaccesibles para los miembros de la VAG.

### Lidares y radiómetros de microondas para medidas de ozono

Además de las sondas electroquímicas, se utilizan lidares y radiómetros de microondas para determinar los perfiles de ozono en las capas superiores de la atmósfera. Los lidares suelen cubrir el intervalo de altitudes que va de los 10 a los 50 km mientras que los radiómetros de microondas abarcan el intervalo de 20 a 70 km. La resolución vertical de un perfil de ozono obtenido con un lidar es, por

lo general, de unos 100-200 m. Un perfil de microondas tiene una resolución vertical de en torno a los 5-10 km. Al igual que ocurre con los espectrómetros de UV-visible, los lidares y los radiómetros de microondas de la red de la NDACC se someten a intercomparaciones con regularidad y los nuevos instrumentos deben demostrar la calidad de las medidas antes de ser aceptados para formar parte de la red NDACC.

La mayor parte de las estaciones lidar de ozono de la NDACC y de las estaciones de la NDACC con espectrómetros de microondas son también estaciones de la VAG.

### Configuración de la red

La Red mundial de vigilancia del ozono atmosférico de la VAG consta de estaciones mundiales, regionales y estaciones asociadas colaboradoras (p. ej., SHADOZ y NDACC). Las estaciones de la VAG son gestionadas por los Estados Miembros de la OMM mientras que las estaciones asociadas colaboradoras dependen de otras redes independientes. Las

medidas de ozono total (espectrofotómetros Dobson y Brewer) y del perfil de ozono (ozonosondas) se llevan a cabo obedeciendo unos procedimientos normalizados de operación y unos objetivos de calidad de datos que han sido desarrollados por el GAC sobre ozono de la OMM a través de la VAG y de las redes colaboradoras. Los datos de los Dobson, Brewer y sondas se envían al Centro Mundial de Datos sobre el Ozono y la Radiación Ultravioleta bien directamente desde las propias estaciones o bien a través de los centros de datos de las redes NDACC y SHADOZ.

Aunque es bastante extensa en cuanto a su cobertura global, la red sigue creciendo para atender las necesidades de la comunidad investigadora del clima de acuerdo con lo que periódicamente se establece en las evaluaciones científicas de la OMM/PNUMA y el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. En la actualidad, existen zonas con lagunas de cobertura en Asia, África y Sudamérica. A pesar de que los satélites no pertenecen formalmente a estas redes, la VAG,

*Lanzamiento de un globo de polietileno con una gran carga útil de instrumentos de medida de ozono durante el desarrollo de la campaña BESOS en Laramie, Wyoming (Estados Unidos), en abril de 2004*



por medio de su Plan estratégico para 2008-2015, está desarrollando la capacidad para vincular e integrar datos de observaciones en superficie, aviones y satélites de acuerdo con los requisitos de la estrategia EIOM-IGACO.

## Contribuidores a la VAG con datos de ozono total

Cincuenta y dos países están registrados en el WOUDC como contribuidores activos con datos de ozono total procedentes de instrumentos Dobson y/o Brewer. Los contribuidores de la VAG también desarrollan y ofrecen productos operativos para la red, como por ejemplo centros mundiales y regionales de calibración. La contribución se realiza a diferentes niveles, desde la recopilación y el análisis de datos, hasta el suministro de controles de calidad, con el fin de generar documentos y distribuir productos del tipo de los del WOUDC. Por ejemplo, el Centro mundial de calibración de instrumentos Dobson, mantenido por la División de vigilancia mundial del Laboratorio de investigación del sistema terrestre de la NOAA, posee una dilatada trayectoria de calibraciones, auditorías, formación y mantenimiento de estaciones sobre el terreno en países en vías de desarrollo y, ocasionalmente, en algunos países desarrollados. Además, existen centros regionales de calibración de instrumentos Dobson albergados por el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina (Buenos Aires), la Agencia Meteorológica de Japón (Tokio), el Servicio Meteorológico de Australia (Melbourne) y el Servicio Meteorológico Alemán (Hohenpeissenberg).

El Patrón mundial de referencia para las medidas Brewer corre a cargo de *Environment Canada* y existe un Centro regional de calibración en Izaña, Tenerife (España), gestionado por el Instituto Nacional de Meteorología de España.

El Instituto Hidrometeorológico Checo posee una página web con información sobre la calibración de los instrumentos Dobson, que es mantenida por el Comité ad hoc de la OMM sobre instrumentos Dobson.

Debido a las contribuciones de sus muchos socios dedicados a generar datos de la mayor calidad posible, la VAG puede adaptarse a las necesidades globales apremiantes que son conse-

cuencia de las nuevas preocupaciones científicas a fin de ofrecer mecanismos ejemplares de garantía de calidad para seguir actualizando los desarrollos en la instrumentación y en la gestión de datos y para elaborar productos y servicios útiles y didácticos dirigidos a la comunidad mundial.

## Contribuidores a la VAG con datos de perfiles de ozonosondas

Hay treinta países registrados en el WOUDC como contribuidores activos con datos de perfil de ozono obtenidos con ozonosondas. El Centro mundial de la OMM para la calibración de ozonosondas está gestionado por el *Forschungszentrum* de Jülich (Alemania). A lo largo del último decenio se han llevado a cabo varios experimentos de intercomparación de ozonosondas en Jülich con objeto de comprender las características y las diferencias entre los distintos tipos.

En abril de 2004 tuvo lugar el Experimento de lanzamiento de globos para definir normas para las ozonosondas (BESOS) en la Universidad de Wyoming (Estados Unidos), en el transcurso del cual se comparó una carga útil de 12 ozonosondas con un fotómetro UV de ozono. Se han celebrado varios seminarios para analizar los resultados de la campaña y estos resultados conducirán a la definición oficial, por parte de la OMM, de unos procedimientos operativos normalizados para las ozonosondas. Casi todas las estaciones que antes utilizaban las sondas de Brewer-Mast han cambiado a las más modernas sondas electroquímicas. En estas estaciones se han venido efectuando vuelos duales a lo largo de varios años con objeto de ajustar la serie temporal. También se ha llevado a cabo este tipo de vuelos en numerosas estaciones que trabajan con las dos principales marcas de ozonosondas electroquímicas a fin de conocer mejor las diferencias entre ellas.

## Contribuidores a la red SHADOZ con datos de perfiles de ozonosondas

En los trópicos y subtrópicos del hemisferio sur había varias estaciones en funcionamiento, pero que tenían una frecuencia y unos procedimientos de información diferentes. La red SHADOZ se diseñó para solucionar esta discrepan-

cia entre datos al poner coordinación, suministrar sondas adicionales y ofrecer una localización para el archivo central. Los datos se recopilan de forma oportuna y están a libre disposición del conjunto de la comunidad científica en la página web de SHADOZ. Varias instituciones colaboran con la red SHADOZ, aportando instalaciones para situar estaciones y adquiriendo ozonosondas. Entre estos contribuidores cabe señalar a la NASA, la NOAA y *MeteoSwiss*.

## Contribuidores a la red NDACC

En 2005 la NDACC cambió su nombre de Red para la detección del cambio estratosférico con el fin de reflejar la variedad cada vez mayor de técnicas de medida y la investigación relacionada con ellas. Cuando se planificó esta red, en la segunda mitad de la década de 1980, el centro de atención se situó en la disminución del ozono estratosférico. Sin embargo, resulta evidente que los instrumentos utilizados en la NDACC pueden abordar algunas cuestiones más que la disminución del ozono como, por ejemplo, el cambio en la temperatura, las variaciones en el vapor de agua y los aerosoles atmosféricos.

Las regiones atmosféricas observadas van desde la troposfera libre hasta la mesosfera. La red consta de más de 70 estaciones distribuidas por las dos regiones polares, las latitudes medias de ambos hemisferios y los trópicos. Estas estaciones pertenecen a instituciones de más de 20 países. Las observaciones y las correspondientes labores de investigación se financian a nivel nacional y por parte de la Comisión Europea a través de los Programas marco de investigación. Las actividades de la NDACC comenzaron en 1991 y el número de estaciones sigue aumentando. Los principales objetivos de la red son los de proporcionar medidas coherentes, normalizadas y de larga duración relativas a la temperatura, los gases traza, las partículas, la radiación ultravioleta y los parámetros de la atmósfera, centrándose en las siguientes prioridades:

- estudiar la variabilidad espacial y temporal de la composición y estructura atmosféricas con el fin de proporcionar una detección temprana y la consiguiente vigilancia a largo plazo de los cambios que tienen lugar en el estado

# Direcciones web relacionadas con el programa VAG y las redes NDACC y SHADOZ

Aunque existen cientos de direcciones web relativas al programa VAG/OMM, las redes NDACC y SHADOZ, sus asociados, y sus productos, se pueden destacar los siguientes lugares para encontrar información adicional:

Web de la VAG/OMM

[http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw\\_home\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw_home_en.html)

Plan estratégico de la VAG/OMM

<http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw-reports.html>  
Reports #142 & 156

GAWSIS

<http://www.empa.ch/gaw/gawsis>

Web de la NDACC

<http://www.ndacc.org>

Microondas de la NDACC

<http://www.iapmw.unibe.ch/research/collaboration/ndsc-microwave/>

Ozonosondas de la NDACC

<http://www.nilu.no/projects/ndsc/sondes.html>

Grupo de trabajo sobre satélites de la NDACC

[http://www.oma.be/NDSC\\_SatWG/Home.html](http://www.oma.be/NDSC_SatWG/Home.html)

Grupo de trabajo teórico de la NDACC

<http://www.see.leeds.ac.uk/ndacc>

SHADOZ

<http://croc.gsfc.nasa.gov/shadoz>

DWD/CHMI

<http://www.chmi.cz/meteo/ozon/dobsonweb/welcome.htm>

WOUDC

<http://www.woudc.org>

NOAA/GMD

<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/>

IGACO-Ozono/UV

<http://www.igaco-o3.fi>

Centro regional de calibración Dobson en Asia

<http://gaw.kishou.go.jp/wcc.html>

Centro regional de calibración Brewer en Europa (Izaña, Tenerife)

<http://www.iberonesia.com/rbcce/index.htm>

Campaña BESOS

<http://croc.gsfc.nasa.gov/besos/>

JOSIE

<http://www.fz-juelich.de/icg/icg-ii/josie/>

Centro de datos de NADIR del NILU (Instituto noruego para la investigación atmosférica)

<http://www.nilu.no/nadir> y <http://nadir.nilu.no>

- físico y químico de la estratosfera y de la alta troposfera; en particular, ofrecer los medios para identificar y comprender las causas de estos cambios;
- establecer los vínculos que existen entre los cambios en el ozono estratosférico, la radiación UV en la superficie terrestre, la química troposférica y el clima;
- ofrecer calibraciones y validaciones independientes de los sensores espaciales de la atmósfera y realizar medidas complementarias;
- apoyar las campañas sobre el terreno relativas a procesos espe-

cíficos que ocurren a diferentes latitudes y en distintas estaciones del año;

- generar conjuntos de datos verificados que sirvan para probar y mejorar los modelos multidimensionales tanto de la estratosfera como de la troposfera.

## Garantía de calidad

El objetivo primordial del sistema de garantía de calidad de la VAG es el de asegurar que los datos depositados en el WOUDC son coherentes, cumplen con los objetivos de calidad de datos de la VAG y están respaldados por una exhaustiva descripción de la metodología empleada en su obten-

ción. El sistema implica a centros de garantía de calidad y actividad científica y a centros de calibración que aseguren la calidad de las observaciones mediante la adhesión a directrices sobre la realización de medidas establecidas por los Grupos asesores científicos, y a través de calibraciones que puedan localizarse en las Normas mundiales de calibración. Las estaciones de ozonosondas de las redes SHADOZ y NDACC, que coinciden en gran parte con la red de la VAG, siguen las mismas rutinas de garantía de calidad que en el caso de la VAG.

También se ofrecen actividades de enseñanza de larga duración, formación profesional, seminarios, auditorías



y visitas a estaciones de calibración y estrechamiento de relaciones que crean capacidad en materia de ciencias atmosféricas de la red de la VAG. Estas actividades de creación de capacidad tienen cada vez más importancia conforme muchas estaciones de la VAG de países en vías de desarrollo se van poniendo en funcionamiento.

Los procedimientos de la VAG se ocupan de la calidad de cualquier observación a través de la conservación de los componentes de todo el proceso de medida, desde los procedimientos operativos en las estaciones de observación hasta la entrega de datos —que han superado un control adecuado de calidad— al Centro mundial de datos. Los principios recomendados de la VAG son los siguientes (Estrategia de ejecución de la VAG, 2001, Informe núm. 142):

- armonizar el método de medida en todas las estaciones utilizando directrices para la medición y procedimientos operativos normalizados;
- realizar campañas de intercomparación de forma regular.

Además, algunos de los principios de medida son específicos para ciertos parámetros:

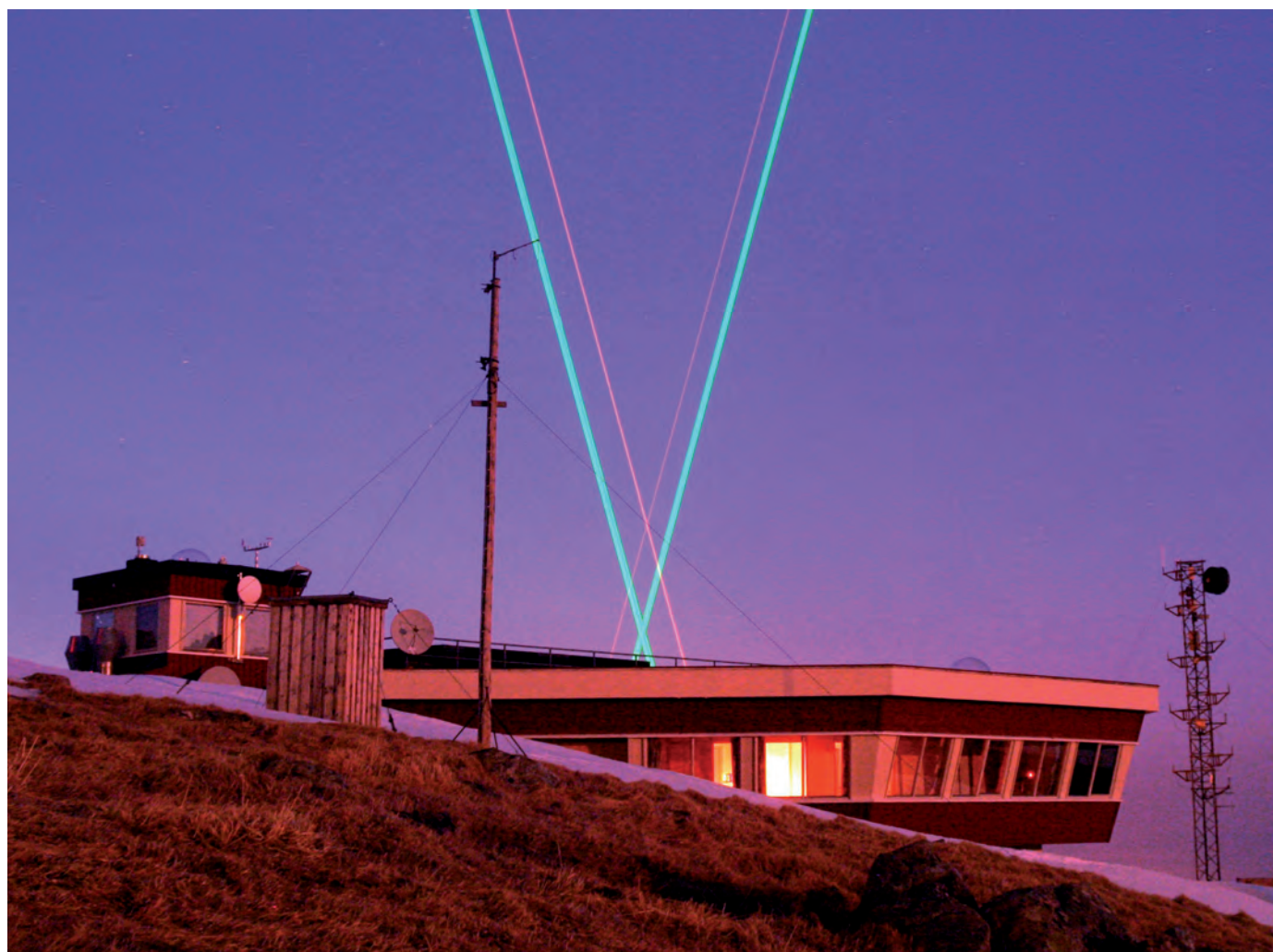
- utilizar objetivos de calidad de datos que definan unos niveles tolerables de incertidumbre, así como de finalización, comparabilidad y representatividad;
- conservar la posibilidad de localización completa en las Normas de referencia mundial de cualquier medida realizada por las estacio-

nes mundiales y regionales de la VAG;

- establecer procedimientos operativos normalizados para las medidas;
- mantener documentación detallada en forma de “libro de registro” relativa a la metodología de medida y a procedimientos sobre instrumentación, mantenimiento y calibración “interna”.

## Centros de archivo y proceso de datos

Cada uno de los seis Centros mundiales de datos (CMD) de la VAG es responsable del archivo de uno o varios parámetros o tipos de medida de la VAG. Las instituciones que los albergan son las que se



Medida lidar diurna llevada a cabo en la estación de la NDACC del Observatorio de Alomar, Andøya (Noruega) (69°N, 16°E)

encargan del funcionamiento y mantenimiento de los centros de datos. Estos centros recopilan, documentan y archivan medidas atmosféricas y sus metadatos asociados procedentes de estaciones de todo el mundo, y ponen esta información a disposición de la comunidad científica de forma gratuita. En algunos casos, los CMD también ofrecen productos adicionales como análisis de datos, mapas de distribución de datos y resúmenes de datos. El Centro Aeroespacial Alemán ha sido la última incorporación a la familia de CMD de la VAG. Este centro proporcionará en el mismo lugar acceso a datos de satélite relativos a la composición de la atmósfera.

## Análisis, distribución y aplicación de los datos

### Sistema de información de las estaciones de la VAG (GAWISIS)

Los laboratorios federales suizos de pruebas e investigación de materiales acogen la página web del GAWISIS (<http://www.empa.ch/gaw/gawisis>), que constituye una útil herramienta para obtener una visión de conjunto del sistema de la VAG, puesto que contiene información detallada sobre programas de medida, personas de contacto, localizaciones exactas de estaciones y un enlace directo a los datos de ozono almacenados en el WOUDC.

### Centro mundial de datos de ozono y de radiación ultravioleta

A través de esta página web (<http://www.woudc.org>) cualquiera puede acceder a los datos de medida aportados por las estaciones de ozono de todo el mundo. A los usuarios se les pide que, si van a utilizar o publicar los datos, tengan en cuenta la obligatoriedad de referirlos debidamente citando a los contribuidores y la fuente de los datos. Algunos ejemplos de productos de distribución de datos son los siguientes:

- Directorio de estaciones disponibles y metadatos.
- Descargas de todos los datos recopilados por el WOUDC.
- Presentaciones gráficas de todos los datos del WOUDC (actualizadas mensualmente).
- Resumen de datos del WOUDC.
- Archivo maestro actualizado mensualmente que contiene la totalidad

## Informes OMM/VAG relacionados con este tema

Estos informes están disponibles para su descarga en la página web de la VAG/OMM:

[http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw\\_home\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw_home_en.html).

Komhyr, W.D., Operations handbook: Ozone observations with a Dobson spectrophotometer, Global Ozone Res. and Monit. Proj., Report No. 6, WMO, Geneva, Switzerland, 1980.

Report of the Tenth WMO International Comparison of Dobson Spectrophotometers, WMO/GAW Report No. 108, 1996.

Reports on WMO International Comparisons of Dobson Spectrophotometers, WMO/GAW Report No. 138, 2001.

Strategy for the Implementation of the Global Atmosphere Watch Programme (2001-2007), A Contribution to the Implementation of the Long-Term Plan (WMO/TD-No. 1077) pdf (437 kb).

WMO GAW International Comparisons of Dobson Spectrophotometers at the Meteorological Observatory, Hohenpeissenberg, Germany, WMO/GAW Report No. 145, U. Köhler, 2002.

Comparison of total ozone measurements of Dobson and Brewer spectrophotometers and recommended transfer functions, J. Staehelin, J. Kerr, R. Evans and K. Vanicek, GAW Report No. 149, WMO, Geneva, 2003.

Current activities of the Global Atmosphere Watch Programme (as presented at Cg-XIV, May 2003) (WMO/TD-No. 1168) pdf (404 kb).

Addendum for the period 2005-2007 to the Strategy for the implementation of the Global Atmosphere Watch Programme (2001-2007), WMO/GAW Report No. 142, (WMO/TD-No. 1209) PDF (277 kb).

The Integrated Global Atmospheric Chemistry Observations (IGACO) Report of IGOS-WMO-ESA (September 2004) (WMO/TD-No. 1235) pdf (22,9 MB) (Aviso: fichero de gran tamaño).

WMO/GAW Strategic Plan 2008-2015, en preparación.

de datos de ozono recibidos por el WOUDC.

- Servicio de generación de mapas de estaciones que verifiquen ciertos criterios.

Los datos se almacenan en formato ASCII y son fáciles de importar con varios programas informáticos como, por ejemplo, el Excel.

### Archivo de datos de la red SHADOZ

La página web de SHADOZ (<http://croc.gsfc.nasa.gov/shadoz/>) ofrece un acceso fácil y gratuito a todos los datos reco-

pilados por la red SHADOZ. Haciendo "clic" en un mapa de estaciones se accede a la base de datos, donde es posible descargar datos o examinar los cuadros ya confeccionados. Los datos se almacenan en formato ASCII de forma sencilla y autoexplicativa.

### Archivo de datos de la red NDACC

El protocolo de datos de la red NDACC establece que los investigadores tienen que presentar los datos dentro de un plazo de un año desde que se realiza la medición. Por consiguiente, los datos permanecerán un año en una



zona de acceso limitado del centro de datos. Pasado ese tiempo, se copia a un lugar ftp anónimo de acceso público. Por supuesto, los investigadores pueden solicitar al administrador del centro de datos que adelante la fecha de disponibilidad de los mismos con respecto a lo establecido en el protocolo. Este acuerdo se lleva a cabo de forma que los proveedores de datos tengan tiempo de calibrarlos y validarlos. Los datos se almacenan en formato ASCII y se puede acceder a ellos a través de la página web de la NDACC (<http://www.ndacc.org>).

## Otros centros de datos

El Centro británico de datos atmosféricos (<http://badc.nerc.ac.uk/home/index.html>) contiene una copia del centro de datos de la NDACC.

El Instituto noruego para la investigación de la atmósfera recopila datos de ozonosondas en tiempo real (del mismo día) procedentes de las estaciones europeas de ozonosondas, los convierte a formato de clave CREX y los comunica al Centro europeo de predicción meteorológica a medio plazo.

## Secretaría de la OMM

A petición de la CCA, la VAG ha producido boletines sobre el ozono antártico con una periodicidad quincenal durante la temporada del agujero de ozono que va de agosto a diciembre, todos los años, desde finales de la década de 1980. El boletín sobre el ozono ártico se publica con carácter anual desde 2006. En estos boletines se utilizan mucho tanto los datos en tiempo casi real como los datos climatológicos de largo plazo procedentes de varias estaciones de la VAG y de la red NDACC. También se emplean datos de satélite.

## Actividades de desarrollo

### Actividades en curso

El objetivo de todos los socios de la VAG es el de mejorar las aplicaciones de la base de datos en lo que se refiere a los temas científicos que se están desarrollando. Hoy en día se están actualizando los procedimientos operativos normalizados de los instrumentos

Dobson mientras que los referentes a los instrumentos Brewer y a las sondas electroquímicas están a punto de concluir. Además, se espera intensificar la colaboración entre el GAC sobre ozono y el Comité directivo de la NDACC.

## Actividades previstas

Como ya se ha comentado con anterioridad, la red de la VAG sigue expandiéndose al ritmo impuesto por las necesidades científicas, en colaboración con las redes SHADOZ y NDACC. Uno de los temas científicos más importantes concierne a documentar el efecto de la reducción de sustancias que agotan el ozono en la capa de ozono. Mientras que la disminución de sustancias antropogénicas que agotan el ozono, impuesta por el Protocolo de Montreal, se halla bien documentada por medio de sus concentraciones decrecientes en la troposfera, su influencia sobre la capa de ozono resulta mucho más difícil de cuantificar. IGACO-Ozono/UV prevé llevar a cabo actividades cuyo objetivo es integrar las medidas terrestres, de satélite y las obtenidas desde aviones con vuelos regulares; con este fin se está analizando, actualmente, el plan de ejecución.

La validación del satélite con medidas de alta calidad obtenidas desde estaciones de la superficie terrestre constituye una tarea de la máxima prioridad si se quieren obtener conjuntos de datos mundiales de ozono de alta calidad —medidos desde instrumentos de satélite— que sean adecuados para la realización de análisis de tendencias a largo plazo. Históricamente, la VAG ha estado más preocupada por la garantía de calidad y el control de calidad de los datos obtenidos desde estaciones de la superficie terrestre. Con la implantación de la estrategia IDACO, la OMM se ha volcado más en la comparación de las medidas de ozono obtenidas por satélite con las realizadas desde tierra.

Hoy en día, la red NDACC está centrando más su atención en el vapor de agua presente en la troposfera libre, en la estratosfera y en la mesosfera. Existen grandes incertidumbres acerca de la tendencia del vapor de agua estratosférico puesto que, en estos últimos años, los datos medidos por el satélite y los registrados por el higrómetro de punto de congelación ofrecen resultados

opuestos. El vapor de agua ya se mide con algunos instrumentos de microondas y con determinados sistemas de lidar. Sin embargo, es necesario realizar sondeos con globos para recoger datos de la alta troposfera y de la baja y media estratosfera.

## Resultados de investigación importantes

BRAATHEN, G.O., S. GODIN-BEEKMANN, P. KECKHUT, T.J. MCGEE, M.R. GROSS, C. VIALLE and A. HAUCHECORNE, 2004: Intercomparison of stratospheric ozone and temperature measurements at the Observatoire de Haute Provence during the OTOIC NDSC validation campaign from 1-18 July 1997, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 4, 5303-5344.

DEUBER, B., N. KÄMPFER and D.G. FEIST, 2004: A new 22-GHz radiometer for middle atmospheric water vapor profile measurements, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 42, No. 5, (doi:10.1109/TGRS.2004.825581).

FARMAN, J.C., B.G. GARDINER and J.D. SHANKLIN, 1985: Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO<sub>x</sub>/NO<sub>x</sub> interaction, *Nature*, 315, 207-212.

FIOLETOV, V.E., J.B. KERR, C.T. McELROY, D.I. WARDLE, V. SAVASTIOUK and T.S. GRAJNAR, 2005: The Brewer reference triad, *Geophys. Res. Lett.*, 32, 20, 805.

FROIDEVAUX, L., W.G. READ, T.A. LUNGU, R.E. COFIELD, E.F. FISHBEIN, D.A. FLOWER, R.F. JARNOT, B.P. RIDENOURS, Z. SHIPPONY, J.W. WATERS, J.J. MARGITAN, I.S. McDERMID, R.A. STACHNIK, G.E. PECKHAM, G. BRAATHEN, T. DESHLER, J. FISHMAN, D.J. HOFMANN and S.J. OLTMANS, 1996: Validation of UARS microwave limb sounder ozone measurement, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 101, 10017-10060.

JOHNSON, B.J., S.J. OLTMANS, H. VÖMEL, H.G.J. SMIT, T. DESHLER and C. KROGER, 2002: Electrochemical concentration cell (ECC) ozonesonde pump efficiency measurements and tests on the sensitivity to ozone of buffered and unbuffered ECC sensor cathode solutions, *J.*

- Geophys. Res.*, 107(D19), 4393, doi:10.1029/2001JD000557.
- JOHNSTON, H., 1971: Reductions of stratospheric ozone by nitrogen oxide catalysts from supersonic transport exhaust, *Science*, 173, 517-522.
- KECKHUT, P., S. McDERMID and D. SWART *et al.*, 2004: Review of ozone and temperature lidar validations performed within the framework of the Network for the Detection of Stratospheric Change, *Journal of Environmental Monitoring*, 6 (9), 721-733.
- MOLINA, M.J. and F.S. ROWLAND, 1974: Stratospheric sink for chlorofluoromethanes, chlorine atom catalyzed destruction of ozone, *Nature*, 249, 810-812.
- POMMEREAU, J.-P. and F. GOUTAIL, 1988: O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub> ground-based measurements by visible spectrometry during Arctic winter and spring 1988, *Geophys. Res. Lett.*, 15, 891-894.
- STAEHELIN, J., A. RENAUD, J. BADER, R. McPETERS, P. VIATTE, B. HÖGGER, V. BUGNION, M. GIROUD and H. SCHILL, 1998: Total ozone series of Arosa (Switzerland). Homogenization and data comparison, *J. Geophys. Res.*, 103, 5827-5841.
- STAEHELIN, J., N.R.P. HARRIS, C. APPENZELLER and J. EBERHARD, 2001: Ozone trends: a review, *Rev. Geophys.*, 39, 231-290.
- STEINBRECHT, W., H. CLAUDE, F. SCHÖNENBORN, I.S. McDERMID, T. LEBLANC, S. GODIN *et al.*, 2006: Long-term evolution of upper stratospheric ozone at selected stations of the Network for the Detection of Stratospheric Change (NDSC), *J. Geophys. Res.*, 111, D10308, doi:10.1029/2005JD006454.
- STOLARSKI, R.S. and R.J. CICERONE, 1974: Stratospheric chlorine: a possible sink for ozone, *Can. J. Chem.*, 52, 1610-1615.
- THOMPSON, A., J.C. WITTE, H.G.J. SMIT, S.J. OLTMANS, B.J. JOHNSON, V.W.J.H. KIRCHHOFF and F.J. SCHMIDLIN, 2007: Southern Hemisphere Additional Ozonesondes (SHADOZ) 1998-2004 tropical ozone climatology: 3. Instrumentation, station-to-station variability, and evaluation with simulated flight profiles, *J. Geophys. Res.*, 112, D03304, doi:10.1029/2005JD007042.
- VANDAELE, A.C., C. FAYT, F. HENDRICK *et al.*, 2005: An intercomparison campaign of ground-based UV-visible measurements of NO<sub>2</sub>, BrO, and OCIO slant columns: Methods of analysis and results for NO<sub>2</sub>, *J. Geophys. Res.*, 110 (D8), Art. No. D08305 APR 26.
- WMO [OMM], 1985: Atmospheric Ozone, Chapter 14 (Ozone and temperature trends), Global Ozone Res. and Monit. Proj., Report No. 16, Vol. III, WMO, Geneva, Switzerland.
- WMO [OMM], 1989: Report of the International Ozone Trends Panel 1988, Global Ozone Res. and Monit. Proj., Report No. 18, Geneva.
- WMO [OMM], 2007: 2006 Scientific Assessment of Ozone Depletion: Global Ozone Research and Monitoring Project, Report No. 50, Geneva.