

a las influencias mutuas que puede tener la estratosfera sobre el clima, de un lado, y a la forma en que los cambios de la troposfera influyen en las variaciones del ozono estratosférico, por otro. Para concluir, me gustaría mencionar las nuevas ideas relacionadas con la posible conexión entre la dinámica estratosférica y las oscilaciones observadas en los fenómenos climatológicos (me refiero a la posible relación entre la Oscilación Ártica y la Oscilación del Atlántico Norte). Si se confirman estas ideas, la relación entre estas dos regiones de la atmósfera sería mucho más fuerte de lo que nos imaginábamos en el pasado. De todas formas, esto es todavía sólo una hipótesis que hay que confirmar.

### Referencias

CHANIN, M.-L. y V. RAMASWAMY, 1999: Trends in stratospheric temperatures. WMO/UNEP Scientific Assessment of Ozone Depletion, WMO Report N.º 44, capítulo 5.  
 FORSTER P. M. de F. y K. P. SHINE, 1999: Stratospheric water vapour changes as a possible contributor to the observed stratospheric cooling. *Geophys. Res. Lett.* 26, 3309-3312.

HARRIS, N., R. HUDSON y C. PHILLIPS, 1998: SPARC/IOC/GAW Assessment of Trends in the Vertical Distribution of Ozone. Informe SPARC N.º 1.  
 KLEY, D., J. M. RUSSELL y C. PHILLIPS, 2000: SPARC Assessment of Upper Tropospheric and Stratospheric Water Vapour". Informe SPARC N.º 2 (en imprenta).  
 OLTMANS, S., H. VOMEL, D. J. HOFMANN, K. H. ROSENLOF y D. KLEY, 2000: The Increase in Stratospheric Water Vapour from Balloon-borne, Fropoint Hygrometer Measurements at Washington D. C. and Boulder, Colorado. *Geophys. Res. Lett.* (en imprenta).  
 SHINDELL, D. T., D. RIND y P. LONERGAN, 1998 (a): Climate Change in the middle atmosphere. Part IV. Ozone response to doubled CO<sub>2</sub>. *J. Climate*, 11, 895-918.  
 SHINDELL, D. T., D. RIND y P. LONERGAN, 1998 (b): Increased polar stratospheric ozone losses and delayed eventual recovery owing to increasing greenhouse gas concentrations, *Nature*, 392, 589-592.  
 SOLOMON, S., 1999: Stratospheric Ozone Depletion: A Review of Concepts and History, *Rev. Geophys.* 37, 3, 275-316.  
 WMO/UNEP, 1994: Scientific Assessment of Ozone Depletion, WMO Report N.º 37.  
 WMO/UNEP, 1999: Scientific Assessment of Ozone Depletion, WMO Report N.º 44.

## Integración de medidas de ozono por satélite e *in situ*

Por C. J. READINGS<sup>1</sup>, J. A. KAYE<sup>2</sup>, E. HILSEN RATH<sup>3</sup> y V. A. MOHNEN<sup>4</sup>

### Antecedentes

Desde 1995, las Agencias Miembros del Comité sobre Satélites de Observación de la Tierra (CEOS) están trabajando con la OMM, con el Consejo Internacional para la Ciencia (CIUC) y con varios organismos más para crear un proyecto que integre las medidas de ozono por satélite e *in situ* como contribución a la Estrategia Integrada de Observación Mundial (IGOS).

Esta estrategia busca integrar las capacidades de los principales sistemas de satélite, de aviones y superficiales en una entidad coordinada que garantice el suministro de observaciones medioambientales claves (atmósfe-

ra, océanos, criosfera y tierra). Es un proceso de planificación estratégica que pretende determinar las necesidades de los usuarios, identificar los recursos disponibles en la actualidad para satisfacer las necesidades de observación y listar dónde faltan observaciones. La IGOS busca satisfacer las necesidades de observación de la forma más rentable posible y, al hacerlo, ofrece la base para un proceso de planificación estratégico que unifica investigación, observaciones a largo plazo y explotaciones. Ello supone hacer coincidir las necesidades con las capacidades existentes y planeadas e implica la existencia de un foro en el que las agencias nacionales e internacionales coordinan y adaptan sus mandatos para satisfacer un objetivo global.

La IGOS abarca todas las formas de recogida de datos y se basa en la necesidad reconocida de que los requisitos de observación los fije el usuario. Representa la convergencia de los intereses de varios socios: el Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC), el Sistema Mundial de Observación de los Océanos (SMOO), el Sistema Mundial de Observación Terrestre

<sup>1</sup> ESA, Centro Europeo de Investigación y de Tecnología Espaciales, Noordwijk, Holanda.

<sup>2</sup> NASA, Sede central, Washington, D. C. 20546, EE.UU.

<sup>3</sup> NASA, Centro Goddard de Vuelos Espaciales, Greenbelt, MD 20771, EE.UU.

<sup>4</sup> Centro OMM-VAG de Garantía de Calidad y Actividad Científica (CGCAC).

(SMOT) y sus patrocinadores, en busca de la coordinación de los componentes espaciales, de aeronaves y superficiales. El CEOS ha tomado la iniciativa en el desarrollo de la componente espacial, mientras que los distintos programas de investigación del cambio global y las agencias de financiación de investigación se han centrado en los requisitos de datos para consolidar el conocimiento científico.

Este artículo se centra en un área que está dirigida por la IGOS, a saber, el suministro de observaciones de ozono, de especies traza relacionadas y de parámetros geofísicos pertinentes. Está claro que hay una necesidad urgente de evaluar las consecuencias mundiales de la industrialización y, para ello, son esenciales unos datos mundiales fiables. Se necesitan datos provenientes de sensores terrestres<sup>5</sup>, de aeronaves y espaciales para verificar no sólo que el Protocolo de Montreal funciona verdaderamente, sino también, en general, para recopilar datos vitales sobre el cambio de la atmósfera mundial que ayuden a crear una base científica sólida para el debate y la acción políticos del futuro.

Como reflejo de esto, se eligió y se inició el Proyecto de Ozono como una de las seis actividades piloto iniciales dentro de la presidencia conjunta de la NASA y la ESA con representantes de otras agencias espaciales, de la OMM y de los sistemas mundiales de observación terrestre, además de expertos de la comunidad científica. A través de sus deliberaciones y en la formulación de sus recomendaciones, el Equipo del Proyecto de Ozono reconoció que la IGOS mundial está centrada en el usuario. Este enfoque permite a los suministradores de datos ajustar sus contribuciones a los requerimientos, para tomar mejores decisiones en la asignación de recursos y para aprovechar mejor la colaboración y la coordinación internacionales.

Los requisitos de los usuarios se obtuvieron de los documentos preparados por la OMM ("Base de datos de los requisitos de los usuarios") y por el SMOC (reunión *ad hoc* del Grupo de Química Atmosférica, Toronto, Canadá, mayo de 1997) o los miembros del Equipo los solicitaron a las agencias nacionales e internacionales y a los usuarios potenciales de productos derivados de los datos de satélites. El objetivo global del Proyecto de Ozono es garantizar la continuidad a largo plazo y la integración espacial de las observaciones clave y la investigación necesaria para mejorar el conocimiento de los procesos biogeoquímicos relacionados directa o indirectamente con el ozono.

<sup>5</sup> En este artículo, se debe interpretar que el término «terrestre» abarca las observaciones aéreas y superficiales.

## Los requisitos

Para cada parámetro (ozono, trazadores atmosféricos claves y parámetros meteorológicos) se obtuvo dos niveles de requisitos de medida, a saber:

- requisitos finales: definidos como el conjunto de condiciones que satisfacen las necesidades de la mayor parte de (si no de toda) la comunidad de usuarios;
- requisitos umbrales: definidos como el conjunto mínimo de condiciones que satisface de forma justificada las necesidades de, al menos, un conjunto de usuarios.

Para el ozono, los requisitos se resumen en la Tabla de la pág. 52. De todas formas, para interpretar con propiedad los valores finales y umbral para el ozono que se dan en esta tabla se necesita una justificación más detallada.

Los modelos de circulación general usan en la actualidad un tamaño de celda de  $1^\circ \times 1^\circ$ , es decir, una resolución horizontal de unos 250 km. Se estableció esto como el umbral horizontal. El valor final horizontal para la baja troposfera se estableció en 10 km, basándose en el requerimiento de la comunidad de usuarios de calidad de aire para resolver el gradiente horizontal de ozono dentro, y a favor del viento, de los principales centros de población. Por encima de la capa límite planetaria, el gradiente horizontal de la concentración de ozono es menos pronunciado, y permite aumentar el valor final a 50 km. Para la densidad total de la columna, el requisito umbral de 100 km se basa en la necesidad de la comunidad de los usuarios de Dobson/Brewer de restringir la representatividad de su medida "puntual" vertical alrededor de este valor. De todas formas, se requerirá una resolución horizontal mucho mayor para satisfacer completamente los requerimientos de los usuarios: de ahí que el valor final sea de 10 km.

La comunidad de modelización pidió un valor final de 0,5 km para la resolución vertical. Los actuales modelos de clima regional y de química, que funcionan con resoluciones verticales de este orden de magnitud, y las observaciones, confirman que el gradiente vertical de ozono cambia realmente de forma importante con la altitud a esta escala. De especial importancia para los modelizadores del clima son los cambios en los niveles de ozono en el intervalo de 8 a 12 km (en el que se postula un aumento de ozono) y en el intervalo de 15 a 20 km (en el que se ha producido una disminución de la concentración de ozono). Los valores del umbral vertical reflejan los requerimientos de otros grupos de usuarios (calidad de aire, modelizadores del clima y de la química, analistas de tendencia) que también necesitan información del perfil de ozono.

Los valores finales para los errores RMS y de sesgo reflejan las concentraciones de ozono observadas dentro de las regiones verticales de la atmósfera elegidas y las necesidades de los distintos grupos de usuarios. Para la troposfera, y en particular para la capa límite planetaria, la comunidad de calidad de aire pide de forma rutinaria una exactitud del 5 por ciento o de 2 ppb y una precisión del 3 por ciento o de 1 ppb (siempre el número mayor de los dos). Para la baja estratosfera, son importantes varios temas que hay que considerar al establecer el valor final, sobre todo el incremento de ozono debido al tráfico aéreo (8-12 km), la destrucción de ozono en los niveles más altos debida a reacciones heterogéneas (< 20 km), la disminución de ozono global debida a los CFC y la pérdida de ozono en las regiones antártica y ártica.

Como por encima de la tropopausa las concentraciones de ozono aumentan de forma importante (en un orden de magnitud) hasta alcanzar un valor máximo alrededor de los 20 ó 25 km, para decrecer a partir de ahí, las comunidades de usuarios han formulado distintos requisitos finales y umbrales para estos regímenes de altitud, reflejando su interés en temas científicos o políticos específicos. Con un 90 por ciento del ozono total en la estratosfera, la tendencia total de la columna de ozono está gobernada por los cambios que se producen en esta región (sobre todo en la baja estratosfera). Entre enero de 1979 y mayo de 1994 el ozono total (de 60° N a 60° S) mostró una disminución del 2,9 por ciento por década. Por consiguiente, el valor final para la detección de la tendencia del ozono total (columna) se fijó en el 0,1 por ciento anual y, para la estratosfera inferior y superior, en el 0,3 por ciento anual. Muchos expertos han estudiado las tendencias de ozono en la troposfera, pero sigue habiendo incertidumbre en grandes regiones del globo debido a la falta de series de datos largas y fiables. El grupo de usuarios de química atmosférica pidió un valor final del 0,5 por ciento tanto para la capa límite planetaria como para la troposfera libre.

De todas formas, para interpretar los cambios observados en el ozono no basta con medir sólo el ozono. Además del propio ozono, deben observarse también una banda relativamente ancha de otras especies químicas atmosféricas y de parámetros meteorológicos (incluidos aerosoles) y solares. Además, se necesitan, de forma global, series de datos largas y precisas para poder comparar las observaciones con los modelos y con sus predicciones. En algunos casos, esto implica la necesidad de datos continuos (con solapamientos garantizados si los instrumentos se despliegan en serie) mientras que, para otros parámetros, sólo se necesitan medidas bien calibradas intermitentes pero regulares.

## Los suministros

Tomando los requerimientos y comparándolos con los suministros actuales, el Equipo identificó las deficiencias de los actuales sistemas de observación y formuló posibles acciones para remediarlas. Buscó establecer prioridades para asegurar el uso más eficaz de los recursos disponibles en las observaciones globales, para mejorar los sistemas existentes y/o para crear sistemas nuevos y para ofrecer al usuario acceso fácil a productos de datos geofísicos con una calidad garantizada.

Muchos de los elementos de un sistema mundial integrado de observación existen hoy en día. Los programas nacionales e internacionales de vigilancia del ozono y de investigación de la química atmosférica ya han desplegado varios sistemas y está programado el lanzamiento de otras misiones dentro de los próximos 10 años. Estos sistemas incluyen un conjunto de misiones espaciales, de redes terrestres y de medidas tomadas desde plataformas en aeronaves (aviones y globos). Algunos ejemplos son:

- la red terrestre Dobson/Brewer/Umkehr para medidas del ozono total y del perfil de ozono, además de otras medidas superficiales asociadas a la red de Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG, una componente del SMOC) de la OMM;
- la red terrestre de medidas por teledetección de instrumentos asociados a la Red para la Detección del Cambio Estratosférico (NDSC), financiada internacionalmente;
- toma de muestras superficiales *in situ* asociada a varios programas de funcionamiento nacional (pero de distribución mundial) diseñados (bajo el paraguas de la VAG) para determinar las concentraciones superficiales de los gases traza de vida larga;
- la red de ozonosondas sobre globos de la VAG y de la NDSC;
- el programa franco-alemán MOZAIC, que mide ozono y vapor de agua sobre plataformas en aeronaves comerciales;
- programas operativos de medida espacial en los que están implicados sobre todo los EE.UU. (NPOESS y SAGE) y Europa (ERS-2 y METOP), que incluyen tanto programas de medidas a largo plazo como instrumentos múltiples sobre distintas plataformas de forma secuencial en el tiempo (véase la Figura 1).

El uso principal de estas observaciones es determinar si son eficaces los protocolos internacionales, creados para contrarrestar la pérdida de ozono, regulando la emisión de gases críticos y de origen humano que contienen halógenos. Las observaciones incluyen medidas globales de la columna total y de cantidades de

### Requisitos finales y umbral de ozono (O<sub>3</sub>) — gas de efecto invernadero

Los requisitos finales para error de sesgo y error RMS son compatibles con los requisitos de tendencia.  
Los requisitos umbral satisfacen las necesidades de al menos un grupo de usuarios.

Región	Resolución horizontal (km)		Resolución vertical (km)		Error RUM (por volumen)		Error de sesgo (por volumen)		Resolución temporal (ciclo de observación; horas)		Detección de tendencia (con continuidad)
	Umbral	Final	Umbral	Final	Umbral	Final	Umbral	Final	Umbral	Final	% anual
Troposfera inferior	250	< 10 *	5	0,5	20% ó 4 ppb	3% ó 1 ppb	30% ó 6 ppb	5% ó 2 ppb	168	3	0,5
Troposfera superior	250	50	5	0,5	20% ó 4 ppb	3% ó 1 ppb	30% ó 6 ppb	5% ó 2 ppb	168	3	0,5
Estratosfera inferior	250	50	3	0,5	15% ó 100 ppb	3% ó 20 ppb	20% ó 150 ppb	5% ó 40 ppb	168	3	0,3
Estratosfera superior/ mesosfera	250	50	6	0,5	15% ó 75 ppb	3% ó 20 ppb	20% ó 100 ppb	5% ó 30 ppb	48	3	0,3
Columna total	100	10	–	–	5% ó 6 DU	1% ó 3 DU	5% ó 6 DU	1% ó 3 DU	24	6	0,1
Columna total (troposfera)	100	10	–	–	15% ó 6 DU	5% ó 3 DU	15% ó 6 DU	5% ó 3 DU	24	6	0,5

\* Rango inferior debido a los requisitos de los usuarios de calidad del aire y de estudio de proceso



perfil de ozono. También incluyen observaciones de componentes atmosféricos importantes para la química del ozono, a saber, fuentes, radicales y especies traza de reserva cuyas distribuciones (y evoluciones) se deben tener en cuenta para explicar los cambios observados en los niveles y en la distribución del ozono.

Además del tema de la pérdida de ozono, ahora se reconoce que las observaciones mundiales de ozono y de otras sustancias traza atmosféricas son importantes para comprender mejor las evoluciones del clima y de la calidad del aire. Se están redirigiendo y/o adaptando los sistemas desarrollados como respuesta a las preocupaciones sobre las consecuencias medioambientales de la pérdida del ozono, para incluir las observaciones en la baja atmósfera necesarias para avanzar en el conocimiento de los efectos de los componentes activos sobre las propiedades radiativas y químicas de la baja atmósfera.

En los próximos años, tanto Europa como los EE.UU. dirigirán al menos una misión de investigación atmosférica a largo plazo (~ 5 años), a saber, ENVISAT y EOS-Aura respectivamente. Japón, a través de sus misiones ADEOS y GCOM, combinará las observaciones operativas y de investigación. Los sistemas terrestres de los que se depende para "validar desde tierra" estos sensores de satélite incluyen los que funcionan bajo los auspicios de la VAG y de la NDSC. De todas formas, el objetivo principal de estas redes, hasta ahora, ha sido documentar los cambios físicos y químicos de la atmósfera y ayudar a desvelar las causas de los cambios observados. Lo mismo se puede decir de ENVISAT y de EOS-Aura.

Los datos de tipo TOMS están garantizados por NPOESS, que seguirá con esas medidas. La continuación de las misiones SAGE está asegurada, aunque sus plataformas son un tanto inciertas en este momento. Las medidas de dispersión en UV-VIS-NIR seguirán con GOME-2 en METOP. GCOM y su misión de continuación, ADEOS, también ofrecerán datos de colaboración desde el espacio. Las misiones de investigación ODIN, ACE y SABER completarán la mayor misión operativa y de investigación. Hasta la fecha, las medidas de química se han hecho desde satélites en órbitas terrestres bajas (LEO), pero las misiones nuevas podrán aprovechar nuevas órbitas estratégicas como las órbitas geostacionaria (GEO) y la L1 para observar los cambios diurnos para los estudios de calidad del aire.

La puesta en marcha de un sistema integrado de observación incluye muchas facetas, entre las que están el despliegue, las operaciones instrumentales, la adquisición de datos, la producción y el archivo de los datos y, por último, la validación de los mismos. Para cada faceta, se deben considerar las necesidades de los usuarios internacionales, reconociendo, de todas for-

mas, que las agencias nacionales, que ofrecen los recursos, pueden tener otras prioridades. Sin embargo, es importante apuntar que se pueden alcanzar importantes ahorros de coste a través de la cooperación internacional.

En muchos casos, los tipos de medida y sus plataformas ya han sido seleccionados. Esto limita la flexibilidad ya que significa que sólo es posible considerar un conjunto limitado de opciones al formular una estrategia integrada de despliegue; sólo permanecen abiertas a un estudio mayor y a la cooperación internacional ciertas áreas. Entre ellas se incluyen el desarrollo de algoritmos, su puesta en marcha, la calibración de instrumentos antes del lanzamiento y, lo más importante, el compromiso de validar los sensores a lo largo de su vida, explotando observaciones terrestres y aéreas.

### Recomendaciones

Como resultado de los análisis llevados a cabo por el Equipo de Ozono, durante los cuales se contrastaron las provisiones actuales con los requerimientos, se han formulado una serie de recomendaciones. Destacan los componentes que faltan en el futuro sistema integrado, además de las deficiencias de los sistemas existentes que hay que mejorar para satisfacer las demandas de las comunidades de usuarios. Sólo poniendo en marcha estas recomendaciones se satisfarán los objetivos de la IGOS para el Proyecto de Ozono.

### Algoritmos

El funcionamiento de los algoritmos de inversión se basa en la capacidad para predecir las radiancias observadas y para obtener parámetros geofísicos a partir de estas radiancias. Para las medidas planificadas, se están desarrollando una gran cantidad de algoritmos, financiados por las agencias nacionales. En cierto modo, ya existe la cooperación internacional entre equipos científicos instrumentales en las áreas de desarrollo y comparaciones de modelos de transferencia radiativa:

- Debe proseguir la cooperación internacional en el desarrollo de algoritmos con especial atención a la obtención de conocimiento, a la creación de modelos de referencia atmosférica y a la comprobación de la física de la transferencia radiativa.

El funcionamiento de estos modelos determinará la precisión de los productos de datos finales. Al maximizar la precisión se minimizarán las diferencias sistemáticas entre los sistemas de observación que usan distintas técnicas de medida. Es posible que pueda desarrollarse un algoritmo común para todos los sistemas que usen la misma técnica de medida. Para ello será esencial asegurar que se usa una espectroscopía compatible al considerar los instrumentos que cubren los mismos rangos espectrales.

## Calibración

La calibración de los sistemas terrestres y espaciales ofrece puntos de vista claves sobre las características instrumentales y la forma en la que trabajan los instrumentos. La calibración es esencial también para la conversión de las mediciones de los instrumentos a radiancias y para la realización de medidas con una alta precisión, necesaria para minimizar las diferencias sistemáticas entre los sistemas de observación (esencial para que estos datos sean útiles para la comunidad de usuarios). Las técnicas empleadas dependen de las normas nacionales y requieren una cuidadosa ejecución:

- Los científicos que mantienen y mejoran las normas nacionales de calibración deben comprometerse cuando se aplican estas normas a la calibración de instrumentos de medida por teledetección.

Se reconoce que los proveedores de instrumentos ya han puesto en marcha la mejora de las técnicas de calibración, pero hay que consolidarla:

- Se deben comparar las técnicas de calibración y, donde se pueda, debe fomentarse la inter-calibración.
- El usuario debe estar completamente comprometido en el análisis de los datos de calibración. Para ello, será esencial disponer de toda la documentación y de una descripción completa de los procedimientos.

Hay que chequear regularmente los sistemas terrestres de medida por medio de calibraciones y de comparaciones entre ellos —un requisito previo absoluto para una recogida fiable de datos—. Con este fin, la VAG, o bien ha creado los Equipos Mundiales de Calibración (WCF), o bien ha ofrecido instrumentos de referencia, aunque no para todos los parámetros de medida (debido a sus recursos limitados) y sin poder garantizar su continuidad a largo plazo.

Todas las medidas terrestres que contribuyen a la IGOS tienen que seguir, al final, una norma mundial (gases de calibración o instrumentos de referencia) y deben satisfacer, de forma demostrable, los objetivos de calidad de datos establecidos por la IGOS:

- Se necesita más apoyo para mejorar y mantener un programa de garantía de calidad extenso y riguroso para la componente terrestre.
- Los parámetros deben fijarse de forma que sean fáciles de localizar y se deben ejecutar medidas para remediar las omisiones.

Para esto último, como solución temporal, las comparaciones entre instrumentos podrían ser un procedimiento aceptable para iniciar la armonización mundial de los datos.

## Cobertura

Ya está en marcha el despliegue de la componente espacial del sistema mundial. Aunque los elementos individuales se han diseñado para satisfacer prioridades específicas nacionales, se basan en requisitos que tienen un apoyo científico internacional bastante amplio. De todas formas, todavía no satisfacen completamente las necesidades de la IGOS internacional.

Los sistemas terrestres no sólo deben hacer frente al desafío de apoyar a la componente espacial de la IGOS (a través de actividades de validación bien coordinadas) sino que también deben ampliar sus actividades a áreas geográficas en las que ahora hay muy pocos datos de muestreo:

- Se deben identificar los mecanismos que permitan a los países en zonas geográficas con pocos datos de muestreo involucrarse de forma activa en el Proyecto de Ozono bajo la VAG y/o la NDSC.
- La distribución geográfica de los sistemas terrestres (para casi todos los componentes atmosféricos y en especial para el ozono) se queda corta de requisitos y debe ampliarse, sobre todo en los trópicos y en el hemisferio sur.

A la vez, como apoyo parcial de la recomendación, es importante garantizar el compromiso total de los científicos y de los ingenieros de los países en vías de desarrollo.

Los distintos instrumentos que se despliegan en el espacio tendrán distintas capacidades respecto al campo de visión y a la cobertura geográfica y vertical. Será así, especialmente, para los instrumentos que vuelen en órbitas terrestres bajas (como la polar) y no tan bajas (como la geoestacionaria). Otro punto que hay que advertir es que METOP, NPOESS y GCOM, aunque sean todos de órbita terrestre baja, cruzarán el ecuador en momentos distintos (o incluso variables):

- Se debe coordinar el funcionamiento de los instrumentos desplegados para garantizar que la cobertura necesaria satisfaga los requisitos, en particular en el caso de que falle uno de los sistemas de observación.
- Se deben estudiar opciones que faciliten el uso sinérgico de datos provenientes de distintos sistemas de medida, como los sistemas espaciales que operan en distintas órbitas (es decir, LEO, GEO, y LI).

## Operaciones

La VAG de la OMM y la NDSC no pueden satisfacer solas el desafío de asegurar y mantener los compromisos financieros para mejorar y/o ampliar las redes terrestres existentes. Ninguna de las dos tiene los recursos suficientes ni siquiera para satisfacer los compromisos y las necesidades actuales. La VAG de la OMM confía en gran medida en la capacidad de los

países Miembros para financiar las estaciones que están dentro de sus fronteras, mientras que los científicos que contribuyen a la NDSC deben obtener sus propias ayudas a través de propuestas a las agencias de financiación. Obviamente esta situación no es satisfactoria y requiere una solución. Una solución es crear un fondo especial:

- Se debe estudiar la posibilidad de crear un fondo para ofrecer apoyo (basándose en la necesidad y en la capacidad demostradas) a la componente terrestre para garantizar su funcionamiento ininterrumpido a largo plazo y también para extender la red a las regiones del globo en las que actualmente hay deficiencia de muestreo.

Esta actividad podría financiarse también mediante acuerdos individuales bilaterales.

### Producción y archivo de datos

La justificación para el despliegue de los distintos sistemas espaciales y terrestres es recoger datos a los que se pueda acceder y que se puedan utilizar con facilidad. Distintas agencias han dedicado importantes recursos a financiar el suministro de datos a los usuarios. Se están ideando y armonizando los formatos de datos, se están creando archivos y se están iniciando actividades de divulgación para garantizar que el usuario esté enterado de las características y de la calidad de los datos. De todas formas, hay que consolidar lo anterior:

- para facilitar el uso de los datos, los proveedores deben tener en cuenta el desarrollo de productos de datos que tengan formatos, descripciones y rutinas de accesibilidad comunes;
- en la medida en que se pueda, se deben emplear unidades comunes para describir las coordenadas (altura y posición) y los valores numéricos de las cantidades medidas;
- las bases de datos archivadas deben tener formatos comunes con punteros capaces de indicar las localizaciones y la forma de acceder a los datos desde los distintos archivos;
- hay que facilitar recursos para el reproceso de los datos a la luz de los ejercicios de validación y para asegurar que estén disponibles de forma general los datos asimilados.

Estas recomendaciones son aplicables tanto a los sistemas terrestres como a los espaciales.

### Validación

La calibración y la validación de los datos medioambientales son fundamentales para alcanzar los objetivos a largo plazo del Proyecto de Ozono y para el uso de los mismos. Reconociendo esto, las naciones con programas espaciales y las naciones que participan en la investigación atmosférica mundial han asignado importantes re-

ursos para financiar la calibración y la validación. De todas formas, no hay en la actualidad ningún programa específico diseñado para garantizar la integridad global de las medidas mundiales a largo plazo.

Se debe tener en cuenta un enfoque completo de calibración y de validación que incluya calibración previa y posterior al lanzamiento, la mejora de algoritmos y el análisis científico (explotando el mejor conocimiento de la atmósfera) necesario para asegurar la compatibilidad (véase la Figura 2). Un programa de medida correlativa amplio y controlado, que explote las observaciones terrestres (tierra, globo y aeronave), debe formar la base del programa de validación de la química atmosférica del ozono. De todas formas, esto implica que las observaciones terrestres ofrezcan datos de calidad garantizada y, consiguientemente, que hayan sido ejecutadas las recomendaciones apropiadas, al menos para los parámetros críticos para la validación de satélites:

- Hay que desarrollar y poner en marcha un programa global de validación, que abarque toda la vida de cada sistema de observación y a los sistemas de observación. Hay que considerar los sistemas espaciales y terrestres (incluidos algoritmos, espectroscopía, etc.) como partes integrales del sistema global de observación.
- Debe reconocerse la naturaleza iterativa y a largo plazo de la calibración y la validación y del desarrollo de algoritmos. Hay que disponer de recursos para garantizar que se usen los resultados de la validación para la mejora de algoritmos, que están ligados así a los requisitos para el posterior reproceso y para la revalidación de los datos.
- Se debe designar un subconjunto de las estaciones VAG y NDSC cuidadosamente escogidas como estaciones permanentes de validación de satélites y hay que integrarlas completamente en las fases de planificación y de ejecución de las actividades de validación de satélites. Ellas serían las estaciones principales para la validación a largo plazo de los sensores de satélites, como se pide en este informe.
- Se deben desarrollar más los equipos de asimilación de datos y hay que ponerlos a disposición de los fines de validación. Asociada a ello, podría considerarse la posibilidad de suavizar los requisitos de resolución (espacial y temporal).
- La distribución geográfica de los sistemas terrestres (para casi todos los componentes atmosféricos) carece de requisitos y hay que aumentarla, sobre todo en los trópicos y en el hemisferio sur, para demostrar la capacidad de los sistemas espaciales para obtener datos precisos bajo todas las condiciones de observación.



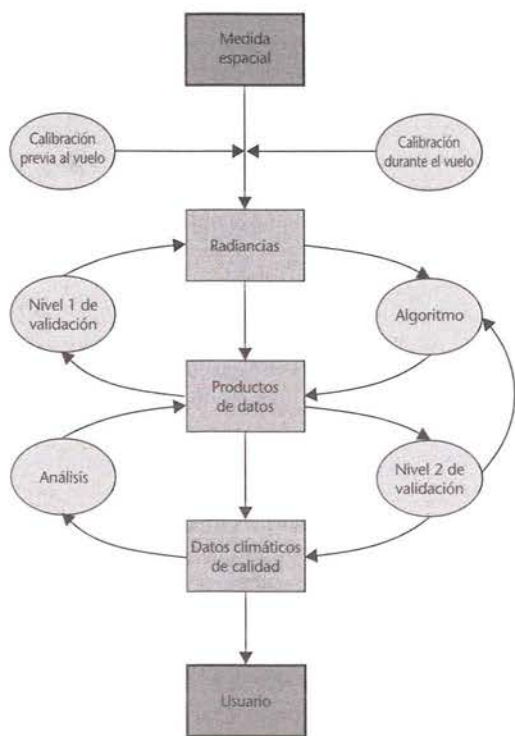


Figura 2 — La validación es un proceso muy iterativo, que implica calibración, modelización R/T, comparaciones, mejora de algoritmos y reproceso.

### Recomendaciones para nuevas medidas espaciales

Las misiones ENVISAT, EOS-Aura y la ILAS-2/GCOM deberían satisfacer de forma conjunta muchos de los requerimientos. De todas formas, son misiones únicas, no operativas (aunque algunos productos ENVISAT se obtendrán de forma operativa en tiempo casi real) y se espera que terminen antes del fin de esta década y no hay planes firmes para continuar con misiones de tipo similar. Las naciones con programas espaciales pueden estar planificando misiones de continuación pero no está claro si estas nuevas misiones satisfarán también los requisitos.

- Es necesario aumentar el suministro operativo de datos. El GOME-2 y el OMPS que vuelan en METOP y en NPOESS solo satisfarán un subconjunto de los requerimientos.
- Estos, o los nuevos sistemas, deberían incluir:
  - medidas fiables del ozono de la troposfera inferior y superior con resolución a escala urbana, necesaria para varios fines medioambientales;
  - cualquier misión existente o planeada que tenga la capacidad de ofrecer información del perfil del NO, NO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en la troposfera; estos gases son importantes para la calidad del aire y para el clima;
  - medidas del BrO y del CO<sub>2</sub> en la troposfera superior y en la estratosfera inferior (aunque SAGE

III puede producir alguna información del perfil del BrO).

- Se deben considerar las órbitas terrestres no bajas para la observación global detallada de la calidad del aire, ya que permitirán la vigilancia continuada de penachos y la observación de grandes variaciones temporales y diurnas.

Para las observaciones troposféricas, las redes terrestres tienen que jugar un papel dominante para garantizar la cobertura espacial y temporal representativa de todos los parámetros importantes. Para asumir este papel hay que poner en marcha en su totalidad las recomendaciones referentes a la ampliación de la red, a la garantía rigurosa de calidad y al compromiso a largo plazo.

### Organismo consultivo para el Proyecto de Ozono

La formulación y la ejecución de una estrategia integrada de observación mundial para el ozono representan un inmenso desafío para los científicos, los ingenieros, los gestores y los políticos. Sólo se logrará el éxito a través del compromiso de muchos colectivos distintos, que abarquen modelizadores atmosféricos, expertos en espectroscopía de laboratorio, los implicados en el desarrollo de tecnología, operadores de sistema, analistas de datos y políticos, junto con los proveedores de datos y sus usuarios.

Las observaciones de la composición de la atmósfera implican un conjunto extremadamente diverso de instrumentos que funcionan bajo distintas condiciones. Además, como el medio ambiente cambia debido a los ciclos medioambientales de largo plazo y al forzamiento antropogénico, la disciplina de la química atmosférica y del ozono sigue evolucionando con los avances del conocimiento. Por lo tanto se puede esperar también que los requerimientos (y, por lo tanto, la estrategia) evolucionen con el tiempo.

Por ello, se recomienda crear un organismo consultivo internacional que ofrezca una dirección global y que asegure la puesta en marcha de los conjuntos específicos de recomendaciones. El organismo consultivo estaría bien organizado bajo los auspicios de organismos como la OMM y el CEOS. Debe tener capacidad para tratar los siguientes asuntos:

- La identificación de las misiones necesarias para satisfacer los requerimientos que no estén cubiertos por los sistemas operativos (METOP y NPOESS).
- La mejora de los requisitos, sobre todo a la luz de los nuevos intereses en calidad del aire y de los avances en el conocimiento de la interacción química y del forzamiento climático.
- Las nuevas actividades de modelización necesarias para mejorar la base científica para las pre-

dicciones. Se deben especificar los requisitos del tipo de datos.

- La organización de los proveedores de datos para asegurar el uso correcto y más rentable de los recursos, incluidos los sistemas espaciales y terrestres.

También se necesita un grupo consultivo que estudie estrategias globales para el suministro de datos de gran calidad desde las redes de observación espaciales y terrestres. Este grupo debería estudiar estrategias globales para actividades de calibración y de validación (incluidas campañas especiales).

## Conclusiones

Hay un sentimiento claro de urgencia en la necesidad de la comunidad internacional para comprometerse a crear un Proyecto de Ozono como contribución a la IGOS y para poner en marcha rápidamente las recomendaciones hechas en el Informe de la OMM y del CEOS sobre la Integración de medidas in situ y de satélites de ozono (Informe n.º 140 de la serie de informes

de la VAG de la OMM). Hay que corregir las lagunas críticas de los sistemas de observación tan pronto como sea posible. Las tendencias anticipadas de crecimiento de población y los correspondientes aumentos en las demandas de energía, de alimentos y de otros recursos naturales implican la necesidad de que se tomen decisiones prudentes para minimizar las consecuencias sobre el medio ambiente, a la vez que se mantiene el desarrollo sostenible.

Se necesitan respuestas fiables a la siguiente pregunta: "¿Qué está cambiando y por qué?" También hay un incentivo más práctico para la acción inmediata. Está programado el lanzamiento de varios sistemas de satélite en esta década; todos necesitarán una gran validación terrestre. Se puede anticipar un gran ahorro en los costes si se crea un Proyecto de Ozono totalmente funcional que pueda compensar realmente algunas, si no todas, de las cargas financieras que resultan de la puesta en marcha de las recomendaciones desarrolladas por el Equipo del Proyecto de Ozono.

## Lothar y Martin

Por Robin Clarke

En Francia y en sus países vecinos, los acontecimientos de la llegada del año 2000 no fueron como se esperaban. En su lugar, los furiosos vientos de las tormentas *Lothar* y *Martin* soplaron por el centro y el oeste de Europa, arrancando bosques, derribando líneas eléctricas y chimeneas, haciendo volar tejados y arrasando granjas. La velocidad máxima de viento registrada para *Lothar* fue de 210 km h<sup>-1</sup> en el Puente de Normandía sobre el río Sena y en lo alto de la Torre Eiffel; *Martin* destruyó un anemómetro en la Isla de Oléron, indicando que al menos una ráfaga superó los 200 km h<sup>-1</sup>.

*Lothar* atacó el 26 de diciembre de 1999, atravesando el norte de Francia y entrando en Alemania, llevándose a su paso gran parte del famoso Bosque de Boulogne de París. Los vientos estuvieron acompañados de una presión excepcionalmente baja (960 hPa) y la propia depresión se movió hacia el este atravesando Francia a más de 100 km h<sup>-1</sup>, llegando a Finistère, en el oeste de Francia, a las 2 horas y alcanzando Estrasburgo, situado 1 000 km al este, a las 11 horas.

*Robin Clarke es Editor de Noticias Mundiales del Clima de la OMM. Vive en la Dordoña de Francia y su artículo refleja sus propias experiencias durante y después de los acontecimientos de diciembre de 1999.*

*Martin* siguió el día siguiente, llegando a última hora de la tarde al oeste de Francia y desplazándose hacia el sur de Alemania, Suiza e Italia.

Las muertes causadas por estas tormentas no fueron nada comparadas con los efectos de muchos ciclones tropicales, donde es común contar las muertes por millares. *Lothar* y *Martin* ocasionaron unas 130 muertes, pero sus costes económicos fueron extremadamente altos. Además, paralizaron poderosas naciones industrializadas. Como consecuencia de ellos, Francia declaró 69 de sus 96 departamentos como "zona catastrófica". Las tormentas dejaron sin luz las zonas más afectadas durante cerca de tres semanas. Muchos de los que vivimos en el centro de Francia celebramos el nuevo milenio de una forma a la que esperamos no tener que acostumbrarnos: las mesas estaban iluminadas con velas (las de aquellos a los que todavía les quedaba alguna), nos calentábamos con madera, y los retretes se limpiaban con cubos de agua fría de pozos abandonados durante mucho tiempo.

En Francia, *Martin* fue el más destructor y el que más duró por dos razones: llegó detrás de una tor-