



BOLETÍN DE LA OMM SOBRE LOS AEROSOLES

OBSERVACIONES INTEGRADAS DE AEROSOLES ATMOSFÉRICOS

Aerosoles volcánicos

Los aerosoles volcánicos son un tipo específico de partículas atmosféricas relevantes para la seguridad de la aviación y la realización de modelos climáticos. Por un lado, la erupción volcánica acaecida en Islandia (figura 1) puso de manifiesto la necesidad de profundizar en los conocimientos sobre la dispersión de las cenizas volcánicas en la atmósfera con miras a garantizar la seguridad del tráfico aéreo. En ese sentido, cabe señalar la importancia que supone la difusión de avisos de presencia de cenizas volcánicas. Por otro lado, el éxito en la aplicación del Acuerdo de París sobre el cambio climático depende, en cierta medida, de la mejora del nivel de conocimientos sobre el sistema climático. Las estimaciones de la repercusión que los aerosoles pueden tener en el clima se caracterizan por presentar un elevado grado de incertidumbre. Los aerosoles de origen volcánico constituyen una de las fuentes de azufre en la troposfera superior, y cabe la posibilidad de que ejerzan un efecto de enfriamiento del clima que es preciso cuantificar. Este tercer número del *Boletín de la OMM* sobre los aerosoles se centra en los avances recientes en la vigilancia y la modelización de las cenizas volcánicas y otros aerosoles conexos. A la hora de analizar las cuestiones abordadas en este número se ha aprovechado la labor del programa de la Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), que trabaja en estrecha colaboración con la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (UIGG) y otros asociados en el ámbito de los aerosoles volcánicos. En el presente número se examinan los constantes progresos en la esfera de los instrumentos de detección y localización por ondas luminosas (lidar), el sistema de alerta de la Red de Observación de Aerosoles con Lidar de la Vigilancia de la Atmósfera Global (GALION), una nueva iniciativa de intercomparación de productos para la predicción de las cenizas volcánicas, y la Vigilancia de los Volcanes en las Aerovías Internacionales.

Introducción a los aerosoles volcánicos

Los aerosoles, pequeñas partículas en suspensión en la atmósfera, constituyen una parte importante de la composición de la atmósfera. Inciden en el clima y la salud humana, así como en numerosos sectores económicos. Si bien las investigaciones sobre el cambio climático se han centrado en los aerosoles antropógenos, cuya liberación se

debe principalmente a la quema de combustibles fósiles, para el análisis de esa materia también deberían tenerse en cuenta los aerosoles naturales —por ejemplo, el polvo, la sal marina, y las cenizas procedentes de volcanes e incendios forestales—, que suelen liberarse en mayores cantidades.

Las erupciones volcánicas contribuyen de forma directa a los aerosoles de origen natural por conducto de emisiones de cenizas y otras partículas, o de forma indirecta a través de la liberación de gases de azufre que, con posterioridad, se condensan y terminan formando aerosoles de sulfato.



Figura 1. Erupción del volcán Eyjafjallajökull, Islandia, 16 de abril de 2010.

Aunque el tamaño relativamente grande de las partículas de ceniza propicia su rápida eliminación de la atmósfera, las partículas de sulfato de menores dimensiones pueden provocar un notable enfriamiento del clima, en especial cuando los gases volcánicos liberados se desplazan hasta la estratosfera inferior. Allí, en contextos de ausencia de nubes y de procesos de eliminación asociados, el período de vida de los aerosoles de sulfato se prolonga y puede llegar a ser del orden de años en latitudes bajas.

Por consiguiente, las grandes erupciones volcánicas pueden contribuir a un notable enfriamiento del clima durante dos o tres años, como sucedió, por ejemplo, en 1992 y 1993 tras la erupción del monte Pinatubo de 1991 (Robock, 2000). En la troposfera, la desgasificación volcánica continuada conlleva un enfriamiento regional fruto de efectos directos e indirectos (dado que los aerosoles de sulfato son eficientes núcleos de condensación de nubes). Ello reduce la calidad del aire y la visibilidad, sin olvidar los riesgos que entraña para el tráfico aéreo.

Uso de técnicas de lidar para las observaciones de aerosoles volcánicos

Técnicas de lidar

Las técnicas de lidar terrestres constituyen un método eficaz para someter a vigilancia la dispersión de una nube volcánica en la atmósfera. Los instrumentos de lidar recurren a la luz ultravioleta, visible o cercana al infrarrojo a fin de generar imágenes de los aerosoles. Pueden utilizarse en distintos emplazamientos: cerca de la fuente, con miras a vigilar principalmente la altura del penacho volcánico, o a grandes distancias, para que faciliten datos sobre la dispersión atmosférica de la nube volcánica. La eficacia de las observaciones mediante lidar puede multiplicarse si se coordinan las diversas redes de vigilancia. En ese sentido, cabe señalar que las redes de vigilancia mediante lidar son fundamentales para el estudio de los aerosoles en una gran escala espacial, incluidos los procesos que rigen su transporte y transformación. Las observaciones terrestres mediante lidar coordinadas son valiosas cuando incorporan datos satelitales a fin de poner de manifiesto la evolución del episodio a lo largo del espacio y el tiempo.

Las primeras mediciones de aerosoles mediante lidar se registraron a finales de 1966. Sin embargo, el uso de esa técnica para fines de investigación no se generalizó hasta el decenio de 1990. No fue hasta después de la erupción del monte Pinatubo, en Filipinas, de 1991 que la comunidad científica empezó a explorar el eventual uso de técnicas de lidar para el estudio de las nubes volcánicas estratosféricas. Tras la publicación de los primeros estudios sobre la erupción del Pinatubo se produjo un gran incremento en la cantidad de trabajos publicados y citas sobre métodos de lidar aplicados a los aerosoles, dado que ese fenómeno desembocó en un auge en el uso de métodos y datos de lidar aplicados a los aerosoles.

De forma análoga, la crisis en el tráfico aéreo provocada por la erupción del volcán Eyjafjallajökull en Islandia en 2010 puede considerarse el punto de partida de una nueva era en el uso de sistemas lidar para la observación de aerosoles. Ese fenómeno coincidió con la consecución de un grado de madurez de los métodos de lidar en esa esfera que permitió a la comunidad investigadora el suministro prácticamente ininterrumpido de datos de medición mediante lidar en toda Europa (madurez técnica), la conversión de mediciones en tiempo casi real en información de utilidad para

las instancias decisorias (madurez comunicativa) y la elaboración de productos específicos para otros usuarios científicos (madurez científica).

En la actualidad, se dispone de distintas técnicas de lidar para el estudio de las propiedades de los aerosoles, desde los sistemas de lidar de retrodispersión elástica más sencillos hasta otros más avanzados y de mayor complejidad, como el lidar Raman para diversas longitudes de onda y el lidar de alta resolución espectral. Todas esas técnicas son adecuadas para la vigilancia de la distribución espacial y temporal de las partículas de origen volcánico emitidas hasta regiones de la troposfera superior y la estratosfera inferior, y permiten caracterizarlas desde un punto de vista dinámico y, en ocasiones, también desde una perspectiva microfísica.

Cuanto mayor sea la complejidad de la técnica de lidar, más información permitirá recabar. Los sistemas de lidar más sencillos permiten obtener las propiedades geométricas (cima y base) de las capas de aerosoles y algunas propiedades ópticas de ese tipo de partículas; por su parte, las técnicas de lidar más avanzadas (esto es, Raman o lidar de alta resolución espectral) proporcionan más datos cuantitativos sobre las propiedades ópticas de los aerosoles (como la relación de lidar y los perfiles de los coeficientes de retrodispersión y de extinción). Los sistemas de lidar Raman para diversas longitudes de onda y lidar de alta resolución espectral permiten determinar las propiedades ópticas espectrales de los aerosoles que podrían emplearse para calcular propiedades microfísicas (forma, dimensiones e índice de refracción) mediante la aplicación de algoritmos numéricos adecuados.

Así, las técnicas de lidar constituyen una fuente de valiosa información sobre las propiedades ópticas y microfísicas de los aerosoles, aspectos pertinentes para las investigaciones sobre el clima y la calidad del aire.

Uno de los objetivos del programa de la VAG de la OMM consiste en estudiar la distribución tetradimensional en el tiempo y el espacio de los aerosoles. En el marco de ese programa, para el que reviste suma importancia desde un punto de vista estratégico el establecimiento de una red mundial de observación mediante lidar, se está realizando un intenso esfuerzo para determinar la distribución espacial y temporal de las propiedades de los aerosoles relacionadas con el forzamiento climático y la calidad del aire a escalas temporales de varios decenios. A pesar de que la VAG cuenta con una red de observación de propiedades de los aerosoles a nivel de la superficie bien establecida, y aunque se ha puesto en marcha un programa con miras a coordinar las redes de fotómetros solares para la medición de las propiedades ópticas de los aerosoles integradas en columna, todavía no se ha cubierto el componente vertical.

La misión de GALION consiste en organizar la capacidad de observación de la distribución tetradimensional de los principales parámetros de los aerosoles a nivel mundial (Informe N° 178 de la VAG, véase OMM, 2007).

GALION facilitará el componente vertical de esa distribución por conducto de una red de teledetección avanzada por láser formada por estaciones terrestres distribuidas por todo el mundo. GALION es una red federada de redes de lidar en funcionamiento que aportan datos a la VAG: Red Asiática de Lidar para la Observación del Polvo y los Aerosoles, Red Latinoamericana de Lidar, Vigilancia de los Aerosoles y el Ozono de la Atmósfera en las Regiones de la

Comunidad de Estados Independientes Mediante una Red de Estaciones Lidar, Red Europea Lidar de Investigación sobre Aerosoles (EARLINET), Red de Microimpulsos Lidar, Red para la Detección de Cambios en la Composición de la Atmósfera, Red de Lidar del Centro Científico y Tecnológico de Teledetección Cooperativa de la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA) y Red Operativa Canadiense de Lidar relativa a los Aerosoles.

Observaciones de partículas volcánicas mediante GALION

Puesto que las erupciones volcánicas explosivas son fenómenos repentinos e impredecibles que pueden afectar a regiones de la troposfera superior y la estratosfera inferior en todo el mundo, en el contexto de GALION se ha implantado un sistema de alerta para ese tipo de fenómenos. Ese sistema de alerta facilita datos sobre fenómenos específicos, como erupciones volcánicas explosivas, a las estaciones de lidar. También aporta información sobre otros fenómenos, como tormentas de polvo de gran intensidad y grandes incendios forestales, a fin de llevar a cabo observaciones coordinadas del fenómeno en cuestión. En 2011, la erupción del Nabro en Eritrea dio pie a la primera iniciativa de vigilancia de un fenómeno específico a escala mundial coordinada a través de GALION, gracias a la cual se pudo observar y caracterizar el penacho volcánico a lo largo de su desplazamiento por todo el mundo, y se llevó a cabo un análisis pormenorizado de propiedades extensivas (como la profundidad óptica de los aerosoles) e intensivas (principalmente la relación de lidar) (figura 2). Las observaciones de GALION se complementaron con mediciones del satélite CALIPSO, una clara prueba de

las ventajas que conllevan las sinergias derivadas del uso conjunto de observaciones terrestres mundiales y datos obtenidos por satélite.

Función de lidar y GALION durante una crisis volcánica

En 2010, Europa se vio inmersa en una crisis volcánica que conllevó el cierre del espacio aéreo en el continente europeo, con las consiguientes repercusiones económicas y sociales y la reducción en la calidad del aire en el noroeste de Europa. El 14 de abril de 2010 empezó la fase eruptiva explosiva del volcán islandés Eyjafjallajökull, que inyectó grandes cantidades de ceniza y sulfatos a la troposfera (Stohl y otros, 2011). El día siguiente, la sociedad europea había descubierto que no estaba preparada para ese tipo de fenómenos. Desde entonces, la Unión Europea ha apoyado numerosas iniciativas encaminadas a incrementar la resiliencia ante los fenómenos volcánicos. Ahora bien, en ese momento los únicos datos de observaciones regulares disponibles para respaldar las actividades de predicción y gestión de la crisis eran los procedentes de determinados productos satelitales.

Las instancias normativas y los diversos organismos acudieron a las comunidades investigadoras más punteras a fin de ampliar los conocimientos sobre la distribución de la nube volcánica por Europa. EARLINET, el componente europeo de GALION, llevó a cabo observaciones de aerosoles mediante lidar cuando las condiciones meteorológicas lo permitieron con miras a respaldar la labor de las instancias decisorias durante el conjunto del fenómeno hasta el 21 de mayo. El Centro de Avisos de Cenizas Volcánicas

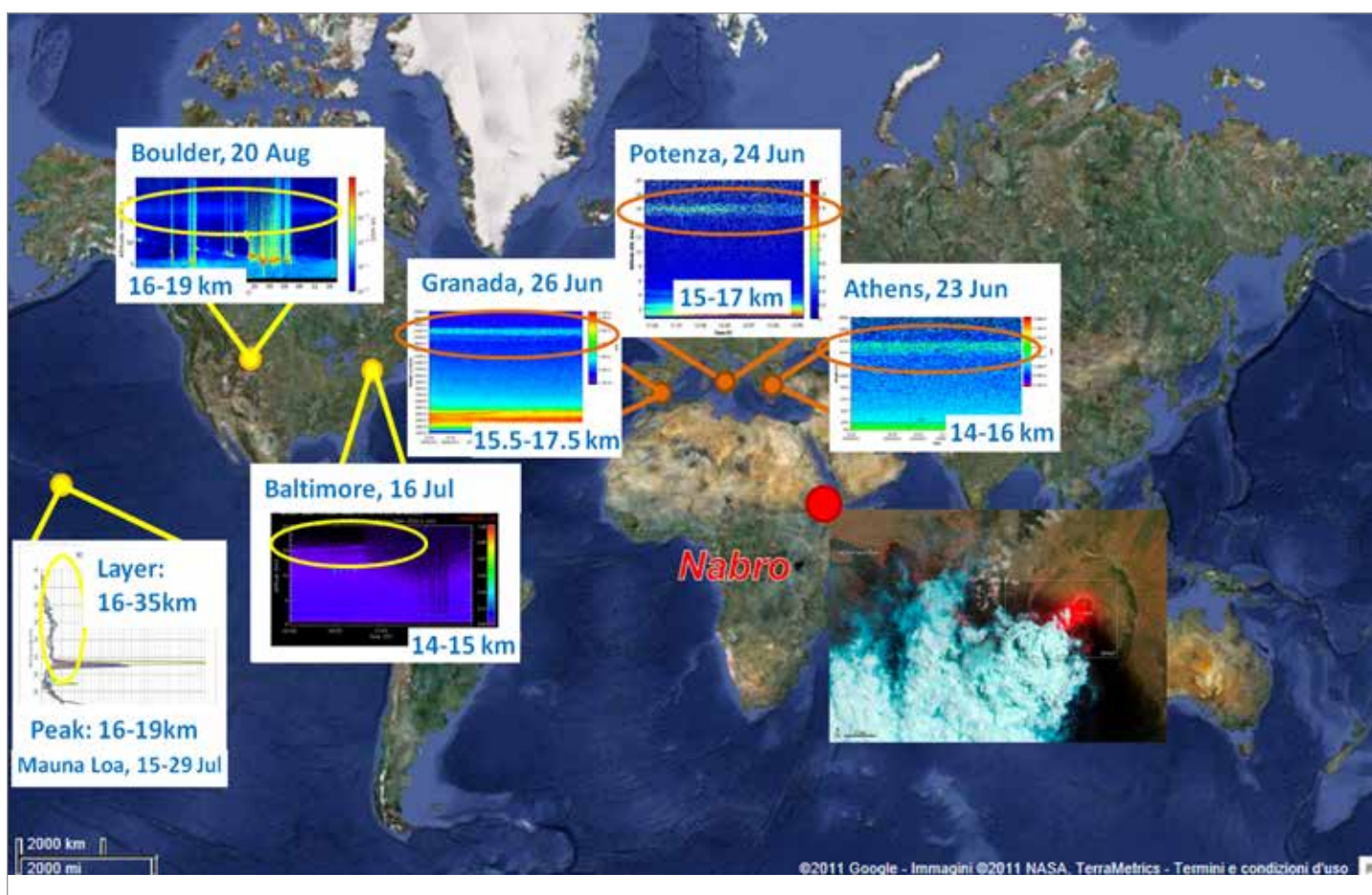


Figura 2. Observaciones del penacho de la erupción del Nabro efectuadas en el verano de 2011 a través de la red de lidar de GALION. Ese fenómeno fue el primer ejemplo de observaciones realizadas en todo el mundo coordinadas mediante GALION (Sawamura y otros, 2013).

y la OMM recibieron cada día un informe acerca de las observaciones de la nube volcánica realizadas en las estaciones de EARLINET con información sobre la altitud a la que se observaban las partículas volcánicas (figura 3).

Al concluir el episodio de la crisis, EARLINET elaboró un método específico para ese tipo de fenómeno. En él se facilitó una descripción pormenorizada en cuatro dimensiones de la distribución de la nube volcánica en su paso por Europa durante el conjunto del período. Se indicaron las propiedades geométricas de la nube volcánica a lo largo de Europa con una elevada resolución vertical (por lo general, 60-180 m) en cuanto a base, cima y parte central de la masa de la capa volcánica. Se determinó la presencia de toda mezcla de partículas volcánicas con otros tipos de aerosoles (por ejemplo, polvo continental y local). Asimismo, durante mayo de 2010 se observó la mezcla con polvo de origen sahariano, principalmente en todas las estaciones de Europa Meridional. Los datos ópticos cuantitativos recopilados por EARLINET durante ese fenómeno, incluida una base de datos relacional específica con parámetros que describían las propiedades geométricas de la nube volcánica, se emplearon para la evaluación del modelo, su validación con datos satelitales y su integración.

Uso de lidar en aras de la resiliencia

La crisis volcánica de 2010 puso de manifiesto que la seguridad del tráfico aéreo pasa indefectiblemente por

la vigilancia en tiempo casi real de las nubes volcánicas. También corroboró, asimismo, las ventajas que supone contar con sistemas de lidar operativos que permitan la detección de un penacho volcánico y la descripción de su distribución en el tiempo y el espacio como parte integral de esas observaciones. La información obtenida cerca de la fuente es sumamente valiosa para poder iniciar la elaboración de modelos de transporte del penacho, mientras que los datos sobre la distribución mundial de las capas verticales de ceniza, en combinación con las observaciones satelitales y desde aeronaves, es fundamental para las actividades de alerta temprana.

En ese sentido, numerosas iniciativas se encuentran en curso en todo el mundo. Los servicios meteorológicos reconocen la importancia de las labores encaminadas a lograr una mejor normalización de los sistemas automáticos comerciales para el cálculo de los perfiles verticales de los aerosoles. El nefobasímetro de lidar es el instrumento más económico y fácil de utilizar para esa aplicación. Se ha evidenciado que, incluso dentro de ciertos límites y condiciones, los nefobasímetros permiten detectar con eficacia intensos penachos de aerosoles y, en algunos casos, también permiten caracterizarlos cuantitativamente.

En el contexto de GALION está en curso un proceso de vinculación entre redes de lidar con fines de investigación y nefobasímetros operativos. La cooperación entre las comunidades operativa e investigadora constituye el

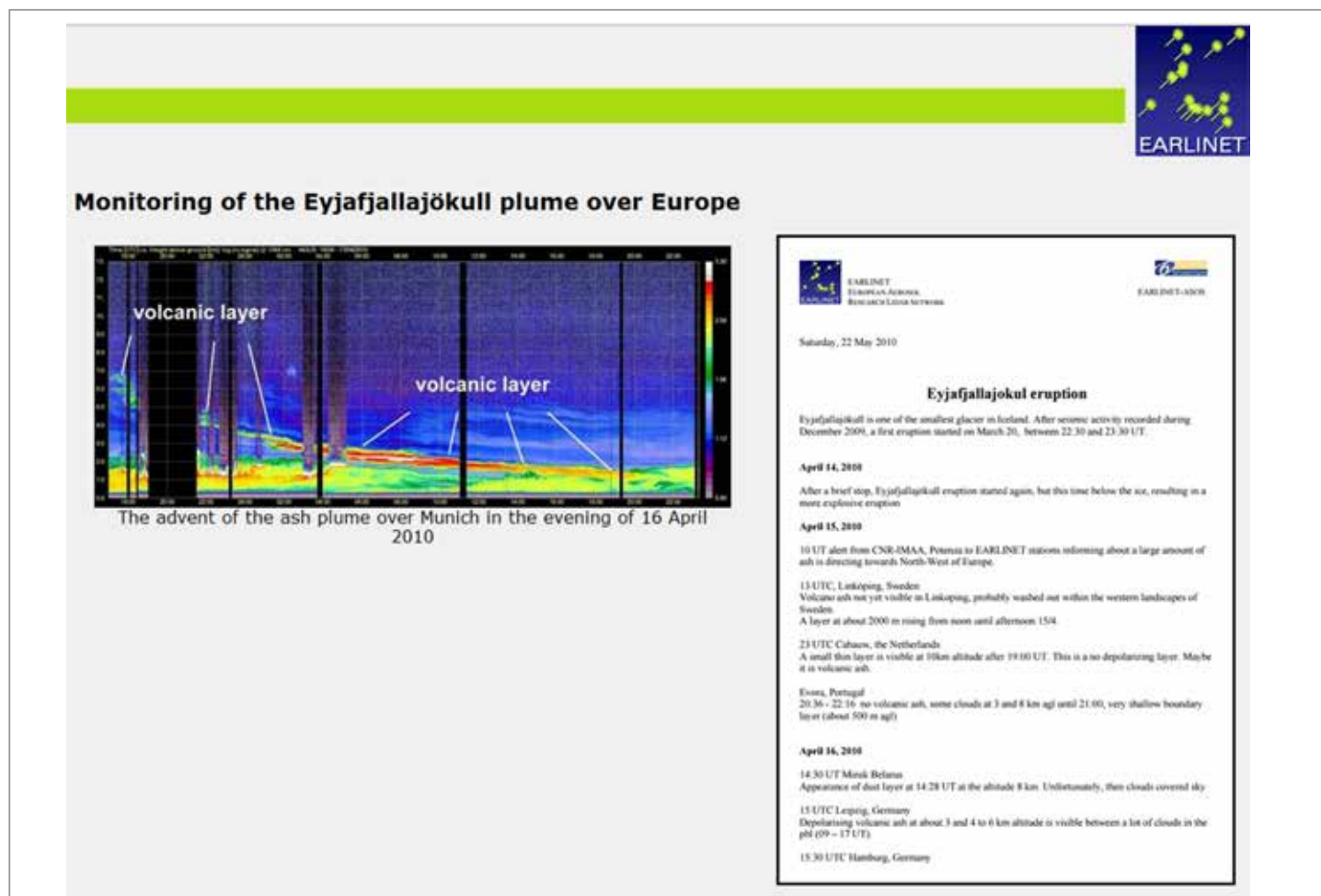


Figura 3. Durante la crisis volcánica que afectó Europa en 2010, EARLINET realizó una intensa campaña de mediciones. Si bien no era una red operativa, se llevaron a cabo análisis rápidos a fin de dotar de valiosa información a los servicios públicos. Cada día se envió a los VAAC y a la OMM un informe acerca de la observación o la ausencia de observación de la nube volcánica sobre las estaciones de EARLINET. La página web de EARLINET facilitó puntualmente imágenes Quick Look (Pappalardo y otros, 2013).

planteamiento idóneo para dotar de información exhaustiva a las instancias decisorias durante situaciones de crisis. Las redes operativas se sirven de avanzados sistemas de lidar consagrados a la investigación para calibrar sus propios sistemas de lidar. Ello reviste importancia, por ejemplo, para perfeccionar la recuperación de perfiles de propiedades ópticas así como también para comprender la fiabilidad de las hipótesis que indefectiblemente deben formularse al recuperarlos.

En la actualidad, la distribución geográfica de los sistemas de lidar operativos (neofosímetros y sistemas de carácter comercial) brinda una buena cobertura de Europa y América del Norte, y una cobertura parcial del Japón y América del Sur (figura 4). Por su parte, la cobertura de África, Asia, Australia y las regiones polares es escasa. La gran cantidad de neofosímetros y sistemas de lidar automáticos actualmente disponibles puede ofrecer una mejor cobertura espacial de las mediciones de los perfiles verticales de los aerosoles con objeto de someter a seguimiento los penachos de cenizas y polvo, así como para vigilar su transporte a larga distancia. Ello es posible gracias a los sistemas de lidar con fines de investigación empleados como estaciones de referencia que permiten suministrar datos de referencia sin sesgo alguno.

Intercomparación internacional de productos sobre cenizas volcánicas basados en datos satelitales

Para dar respuesta a las necesidades de los usuarios, siempre en constante evolución, se necesitan productos relativos a las nubes de ceniza volcánica de carácter cuantitativo y de alta calidad, en especial en la esfera de la aviación. La teledetección cuantitativa por satélite de nubes de ceniza volcánica ha experimentado una notable evolución a lo largo del último decenio gracias a la aparición de nuevos sensores y técnicas. Asimismo, los modelos

que permiten predecir la dispersión y el transporte de esas nubes también han evolucionado, y se ha demostrado que los productos satelitales propician la obtención de mejores predicciones.

A fin de documentar la situación de la ciencia centrada en la recuperación de datos satelitales sobre nubes de ceniza volcánica y consolidar la coordinación internacional en materia de actividades operativas y de investigación relacionadas con la teledetección satelital de cenizas volcánicas, se ha puesto en marcha una iniciativa para la intercomparación de productos. Esa iniciativa se fraguó gracias a un grupo internacional de científicos participantes en el segundo taller de la UIGG y la OMM sobre predicciones de dispersión de cenizas volcánicas y aviación civil, celebrado en Ginebra del 18 al 20 de noviembre de 2013. Ulteriormente, el establecimiento de un proyecto piloto en el marco de la iniciativa Procesamiento Continuo y Coordinado de Datos Satelitales Medioambientales para la Predicción Inmediata de la OMM supuso la formalización de la actividad de intercomparación. El objeto de esa iniciativa, liderada por el Programa Espacial de la OMM, consiste en lograr el suministro continuado y mantenido de productos satelitales coherentes y bien caracterizados para fines de predicción inmediata y reducción del riesgo de fenómenos meteorológicos extremos.

El proyecto piloto de intercomparación en materia de cenizas volcánicas de la iniciativa Procesamiento Continuo y Coordinado de Datos Satelitales Medioambientales para la Predicción Inmediata consta de dos fases. En la primera de ellas, completada en 2015, el objetivo consistió en documentar las fortalezas y las limitaciones de los algoritmos satelitales que permiten detectar y caracterizar las nubes de ceniza volcánica. Por lo general, el componente de caracterización de los algoritmos incluye la determinación de la altura de la cima de la nube de ceniza (figura 5) y la

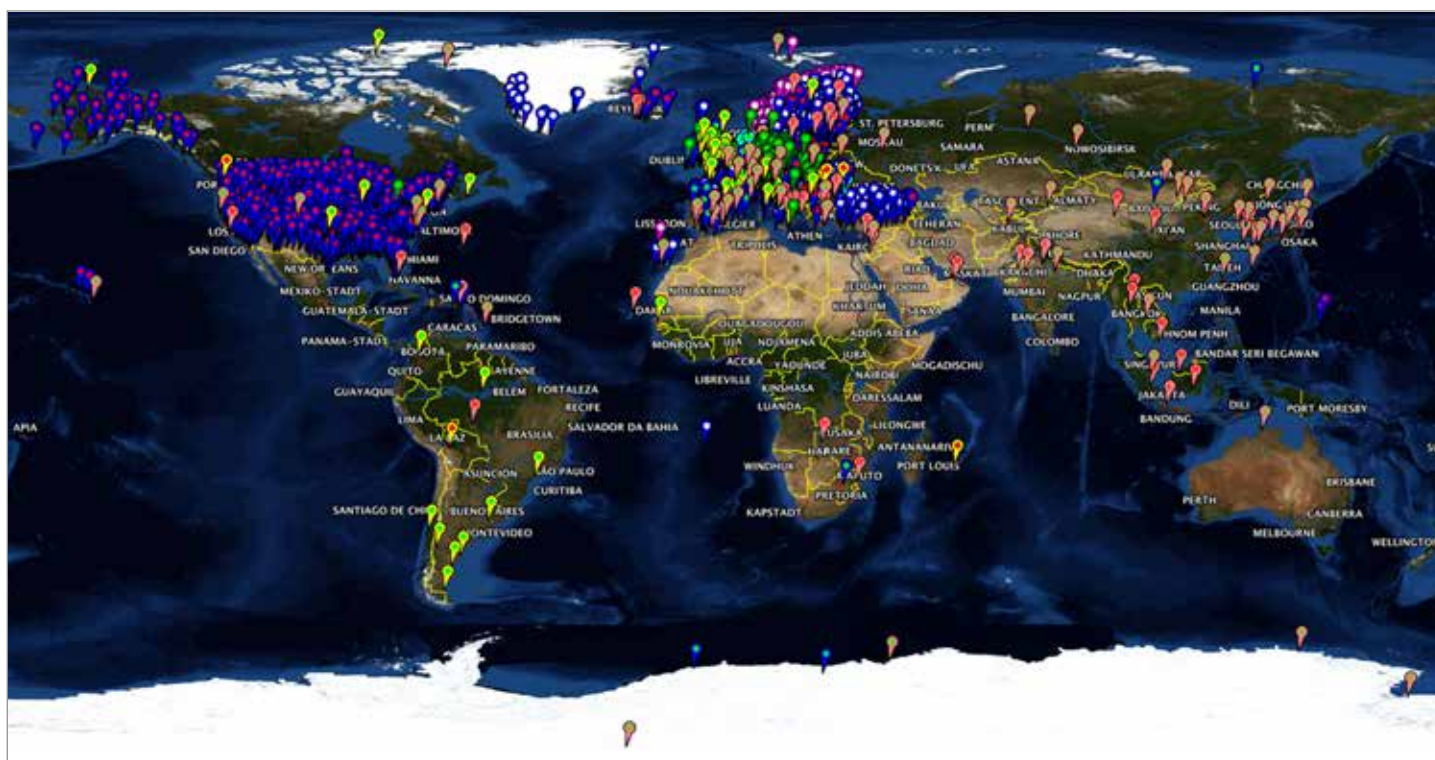


Figura 4. Mapa mundial de neofosímetros operativos (octubre de 2017) según datos publicados en <http://www.dwd.de/ceilomap>. Los diversos colores representan a los distintos fabricantes.

carga de masa (masa de la columna total por unidad de superficie). Un total de 27 conjuntos de datos pasivos sobre cenizas volcánicas de origen satelital, generados mediante 22 métodos de recuperación distintos, fueron objeto de intercomparación, y todos los productos satelitales pasivos se compararon con "datos de validación" independientes. Con el apoyo de la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos, científicos del Rutherford Appleton Laboratory del Reino Unido llevaron a cabo el análisis intercomparativo y los resultados se debatieron en un taller celebrado en Madison (Wisconsin), del 29 de junio al 2 de julio de 2015. La primera fase del análisis intercomparativo puso de manifiesto que la exactitud de los productos satelitales sobre cenizas volcánicas depende en gran medida del método de recuperación, la capacidad de los sensores satelitales y la complejidad de cada caso concreto. Si bien se alcanzaron consensos generales en algunas esferas en el caso de las tres erupciones principales analizadas¹, existen diferencias en cuanto a capacidades que deben comprenderse mejor.

El objetivo principal de la segunda fase de la actividad de intercomparación, que concluirá en 2018, pasa por una mejor caracterización y un conocimiento más profundo de las diferencias entre productos. También se evaluarán las repercusiones de las nuevas capacidades satelitales que no estaban disponibles en la primera fase de la intercomparación². Una vez finalizada la segunda fase del análisis, se celebrará un taller para informar de los resultados y formular recomendaciones para la mejora de las capacidades satelitales de teledetección de cenizas volcánicas. La actividad de intercomparación seguirá alentando la participación de grupos conexos, como el [Grupo Consultivo Científico sobre Cenizas Volcánicas](#) de la OMM y la UIGG, la VAG de la OMM y los Centros de Avisos de Cenizas Volcánicas (VAAC). Una coordinación internacional continuada permitirá mantener un ritmo acelerado de perfeccionamiento de las capacidades operativas de teledetección por satélite de cenizas volcánicas.

Vigilancia de los Volcanes en las Aerovías Internacionales

Los encuentros de aeronaves con nubes volcánicas durante las erupciones del Galunggung (Indonesia, 1982), el Redoubt (Estados Unidos de América, 1989) y el Pinatubo (Filipinas, 1991) en los que se rozó la catástrofe, y muchos otros encuentros destacados, supusieron el establecimiento de un nuevo sistema de alerta: la Vigilancia de los Volcanes en las Aerovías Internacionales. El establecimiento de ese sistema conllevó una intensa colaboración entre la OMM, la OACI y la comunidad vulcanológica, representada principalmente por la Asociación Internacional de Vulcanología y Química del Interior de la Tierra, una asociación miembro de la UIGG. Cuando los primeros VAAC entraron en funcionamiento en el decenio de 1990, la Vigilancia de los Volcanes en las Aerovías Internacionales ya se había instaurado y pudo emprenderse la auténtica labor operativa.

Para facilitar información exacta al sector de la aviación en materia de cenizas volcánicas, es preciso contar con los conocimientos más exactos que sea posible de los elementos que se indican a continuación:

- el carbono elemental se utiliza en lugar del carbono negro para los datos obtenidos con métodos específicos del contenido en carbono de la materia carbonácea;
- momento de erupción de un volcán, preferiblemente con indicación de la hora de inicio;
- composición de la nube de la erupción (preferiblemente por anticipado), y cantidad de masa en la nube;
- distribución vertical de los componentes de la nube;
- agregación y precipitación de las partículas de ceniza, y evolución de los componentes gaseosos con el paso del tiempo;
- mejores métodos de medición de los parámetros anteriores mediante teledetección y formulación de predicciones mediante procesos de modelización.

Las incertidumbres relacionadas con los aspectos enumerados se materializan durante un fenómeno en tiempo real que podría acarrear importantes implicaciones económicas y para la seguridad.

Hasta la fecha se han logrado progresos concretos, pero un breve examen de los puntos indicados con anterioridad evidencia que es preciso multiplicar los esfuerzos desplegados. La propia predicción de las erupciones volcánicas constituye un ámbito en el que es preciso trabajar con denuedo. Las nubes volcánicas pueden presentar grandes diferencias en cuanto a composición, su distribución vertical y horizontal puede ser extremadamente compleja, como puso de manifiesto la erupción del Eyjafjallajökull, y también pueden interactuar con el entorno meteorológico de diversas formas sumamente interesantes.

Por lo general, durante un fenómeno el personal operativo utiliza información de todas las fuentes, incluidos los satélites operativos y centrados en la investigación, los sistemas de lidar terrestres y espaciales, los radares, y los observadores desde tierra y desde el aire. En contadas ocasiones un responsable de operaciones rechaza información, en particular si se ha contrastado su procedencia.

Tras producirse un fenómeno, la colaboración es el mejor medio para extraer enseñanzas. Por ejemplo, los VAAC habrán elaborado un registro en tiempo real en el que se recogerán las alturas y las extensiones de las nubes analizadas. Normalmente, estarán encantados de entablar debates sobre el análisis posterior de los datos, y participarán con gusto en estudios del fenómeno. Ahora bien, en muchos casos, la línea que separa las esferas operativa e investigadora puede ser una de las más difíciles de franquear, con el consiguiente menoscabo de la calidad de las publicaciones y de la mejora operativa.

Desde una perspectiva más general, la Vigilancia de los Volcanes en las Aerovías Internacionales crea un elemento imprescindible: una gran conexión en tiempo real entre la vigilancia de la tierra firme y la atmósfera, por un lado, y la gestión de peligros y fenómenos que afectan a ambas esferas, por otro. Los volcanes inciden en la composición atmosférica, provocan tsunamis, lahares (deslizamientos de materiales volcánicos), flujos piroclásticos y problemas agrícolas y sanitarios, y tienen muchas otras repercusiones. La descripción de las emisiones de ceniza volcánica y su movimiento, una labor al servicio de la seguridad de la aviación, es una parte de un esfuerzo más amplio encaminado

1 Eyjafjallajökull (Islandia) 2010, Grimsvötn (Islandia) en 2011 y Puyehue-Cordón Caulle (Chile) en 2011.

2 El 7 de octubre de 2014, el Organismo Meteorológico del Japón lanzó el satélite Himawari-8. El 19 de noviembre de 2015, la NOAA lanzó el primer satélite geoestacionario operativo para el estudio del medioambiente (GOES-16) de última generación.

a comprender la atmósfera de la Tierra. Para que ese esfuerzo resulte exitoso, es imprescindible una colaboración mucho más estrecha entre los diversos grupos y actores que desempeñan su actividad en ese ámbito.

Productos y servicios de la VAG

Las observaciones, como aquellas realizadas por plataformas terrestre y móviles (por ejemplo, aeronaves), y los satélites son decisivos para comprender la composición atmosférica y someterla a vigilancia. Asimismo, los modelos atmosféricos también desempeñan una labor fundamental en el análisis y el estudio del transporte de contaminantes y su interacción, evolución y eliminación. Los modelos también son esenciales porque posibilitan el estudio de la totalidad del entorno actual y, además, pueden utilizarse para elaborar predicciones del estado futuro de la atmósfera. Esas predicciones pueden abarcar intervalos que oscilen entre horas y decenios, e incluir los cambios reales y eventuales, tanto naturales como antropógenos, en las emisiones, los procesos, los factores medioambientales y aspectos análogos.

Para la realización de cualquier modelo es imprescindible disponer de observaciones que guíen su elaboración y puedan utilizarse para validar y verificar los resultados obtenidos. Además, la combinación de observaciones y modelos es la estrategia óptima, y más robusta, que permite comprender y predecir la evolución y la composición de la atmósfera.

Los cambios en la composición atmosférica tanto a corto como a largo plazo inciden en la sociedad. Las emisiones

de gases y cenizas de origen volcánico constituyen buenos ejemplos que ponen de manifiesto los efectos tanto inmediatos (por ejemplo, en la aviación y la salud humana) como a largo plazo, incluido el forzamiento climático y las consecuencias derivadas de los cambios en la composición atmosférica. Si bien ambos conllevan todo un abanico de desafíos, los efectos mencionados en primer lugar imponen unas exigencias adicionales considerables en cuanto a oportunidad de los datos y resolución temporal y espacial. De hecho, esa necesidad de observaciones en tiempo casi real es un requisito común para abordar todo un espectro de efectos, pero que no siempre propicia el notable proceso necesario para la generación de datos sobre la composición atmosférica plenamente contrastados. Sin embargo, es posible generar datos de forma oportuna, y ello puede resultar de considerable utilidad para una amplia gama de aplicaciones.

El programa de la VAG, al reconocer ese hecho, ha determinado la necesidad de incrementar el apoyo a la elaboración y el uso generalizado de servicios y actividades de investigación relativos a la predicción de la composición atmosférica y los fenómenos medioambientales derivados. Como parte de esa actividad, en 2016 se estableció el [Grupo Consultivo Científico de la VAG sobre Aplicaciones de Modelización](#) con miras a potenciar el intercambio de información entre la comunidad de observadores de la VAG, los expertos en la elaboración de modelos y los usuarios finales de los datos sobre la composición atmosférica. Los conocimientos especializados del citado Grupo Consultivo Científico abarcan un amplio abanico de disciplinas, y sus integrantes son representantes de diversas comunidades

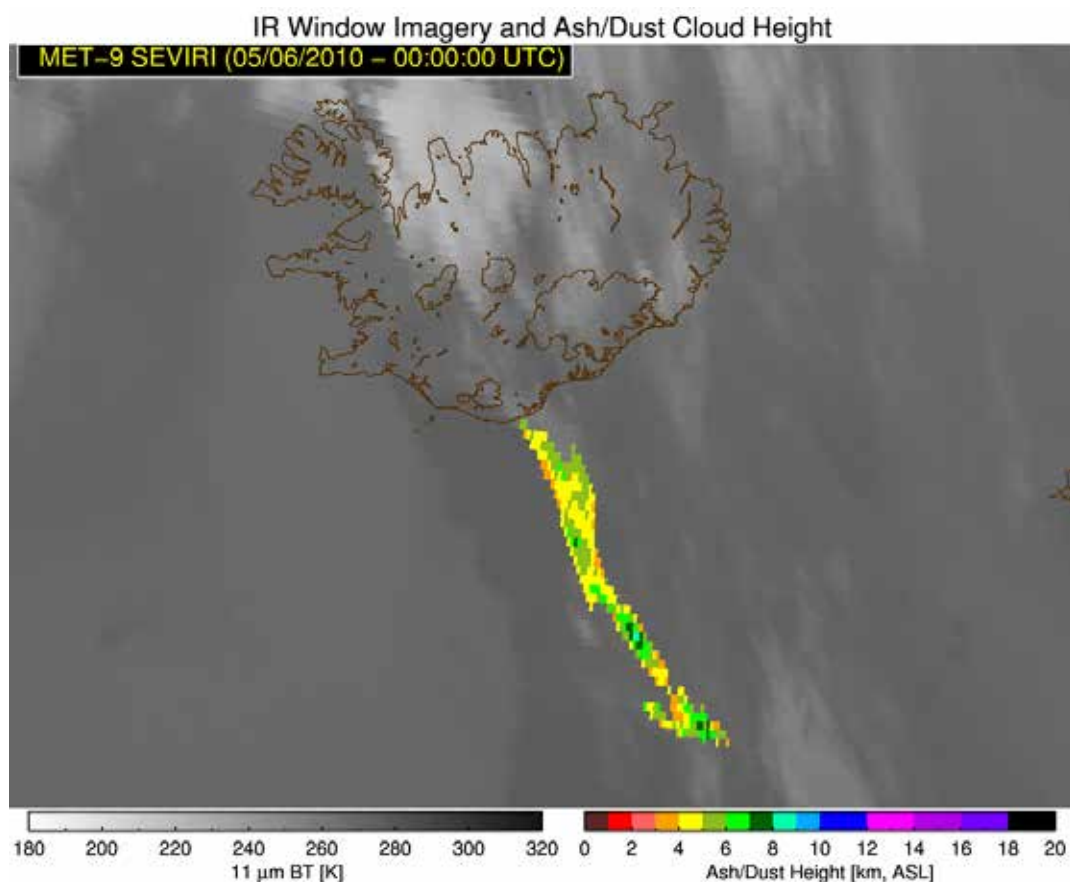


Figura 5. Los datos satelitales meteorológicos pueden utilizarse para estimar parámetros esenciales de nubes de ceniza volcánica tales como la altura de la cima de las nubes de ceniza, de la cual se muestra un ejemplo para las emisiones de ceniza del volcán Eyjafjallajökull en Islandia el 6 de mayo de 2010. Dichos productos, derivados de numerosos sensores satelitales y algoritmos informáticos, fueron evaluados y validados como parte de un proyecto piloto de la OMM de procesamiento continuado y coordinado de datos satelitales medioambientales (SCOPE) para la predicción inmediata.

de investigadores y usuarios. Esa iniciativa encarna un esfuerzo de colaboración de la VAG con el Programa Mundial de Investigación Meteorológica y el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas.

El principal objetivo del Grupo Consultivo Científico sobre Aplicaciones de Modelización consiste en perfeccionar una cartera de productos y servicios de modelización relacionados con la composición atmosférica y, de forma más específica, acreditar la utilidad del intercambio de datos sobre observaciones de naturaleza química en tiempo casi real en apoyo de las aplicaciones de vigilancia y predicción. Como tales, las actividades de vigilancia y modelización relacionadas con la calidad del aire y la elaboración de predicciones atmosféricas en respuesta a emergencias, por ejemplo, las llevadas a cabo en caso de erupciones volcánicas, son esferas principales de interés que, además, entrañan importantes desafíos. A fin de dar respuesta a esa realidad, el Grupo Consultivo Científico sobre Aplicaciones de Modelización se coordina con los diversos grupos establecidos, como el Grupo Consultivo Científico sobre Cenizas Volcánicas en materia de realización de predicciones volcánicas, y el [Proyecto de Investigación sobre Meteorología y Medioambiente Urbanos](#) de la VAG en cuanto a calidad del aire, con miras a determinar posibles proyectos de demostración y eventuales oportunidades de intercambio de conocimientos.

Agradecimientos

El Grupo Consultivo Científico de la VAG sobre Aerosoles (http://www.wmo.int/pages/prog/www/CBS/Lists_WorkGroups/CAS/opag-epac/gaw%20sag%20aerosols) ha elaborado el presente boletín. Asimismo, Gelsomina Pappalardo (GALION de la OMM), Matthew Hort (Grupo Consultivo Científico de

la VAG sobre Aplicaciones de Modelización de la OMM), Michael Pavolonis (Procesamiento Continuo y Coordinado de Datos Satelitales Medioambientales para la Predicción Inmediata de la OMM), Andrew Tupper y Larry Mastin (Grupo Consultivo Científico sobre Cenizas Volcánicas de la OMM y la UIGG) han sido los autores de las principales aportaciones adicionales.

Referencias seleccionadas

Pappalardo, G. y otros (+58), 2013: "Four-dimensional distribution of the 2010 Eyjafjallajökull volcanic cloud over Europe observed by EARLINET", en *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13:4429-4450, <https://doi.org/10.5194/acp-13-4429-2013>.

Robock, A., 2000: "Volcanic eruptions and climate", en *Review of Geophysics*, 38(2):191-219, doi:10.1029/1998RG000054.

Sawamura, P. y otros (+18), 2013: "Stratospheric AOD after the 2011 eruption of Nabro volcano measured by lidars over the Northern Hemisphere", en *Environment Research Letters*, 7:034013, doi:10.1088/1748-9326/7/3/034013.

Stohl, A., A.J. Prata, S. Eckhardt, L. Clarisse, A. Durant, S. Henne, N.I. Kristiansen, A. Minikin, U. Schumann, P. Seibert, K. Stebel, H.E. Thomas, T. Thorsteinsson, K. Tørseth, y B. Weinzierl, 2011: "Determination of time- and height-resolved volcanic ash emissions and their use for quantitative ash dispersion modeling: the 2010 Eyjafjallajökull eruption", en *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11:4333-4351, <https://doi.org/10.5194/acp-11-4333-2011>.

OMM, 2007: Informe N° 178 de la VAG. *Plan for the Implementation of the GAW Aerosol Lidar Observation Network GALION* (Hamburgo, Alemania, 27 a 29 de marzo de 2007) (WMO/TD-No. 1443). Ginebra.

Preguntas y respuestas

Acerca del Boletín de la OMM sobre los aerosoles	El <i>Boletín de la OMM sobre los aerosoles</i> ofrece información general sobre los aerosoles en el marco de la VAG y se centra en componentes o aplicaciones específicos de las observaciones de aerosoles y los estudios de procesos en ese programa.
Inclusión en la VAG	El procedimiento se describe en http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/join_GAW.html
Obtención de datos	Descargue datos obtenidos en tierra <i>in situ</i> , mediante lidar y sobre el espesor óptico de los aerosoles de http://www.gaw-wdca.org/ , y datos satelitales de http://wdc.dlr.de/data_products/AEROSOLS/
Realización de mediciones	Siga los principios normalizados de operación y las directrices de medición descritos en el <i>Informe N° 227 de la VAG: WMO/GAW Aerosol Measurement Procedures, Guidelines and Recommendations</i> (Procedimientos, directrices y recomendaciones para la medición de aerosoles de la OMM/VAG), https://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=3073 .
Más información	Se dispone de más información acerca de la VAG en http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw_home_en.html , del Sistema de Información de las Estaciones de la VAG en https://gawsis.meteoswiss.ch/ , y del Grupo Consultivo Científico sobre Aerosoles en http://gaw.tropos.de/index.html . Las preguntas relativas al contenido del presente Boletín deben dirigirse a Alexander Baklanov abaklanov@wmo.int .

Organización Meteorológica Mundial

División de Investigación sobre el Medioambiente Atmosférico, Departamento de Investigación, Ginebra
Correo electrónico: AREP-MAIL@wmo.int | Sitio Web: public.wmo.int/gaw