

El efecto de las cenizas volcánicas en la aeronave

Alberto García Pérez

alberto.garcia@mundoaeronautico.es

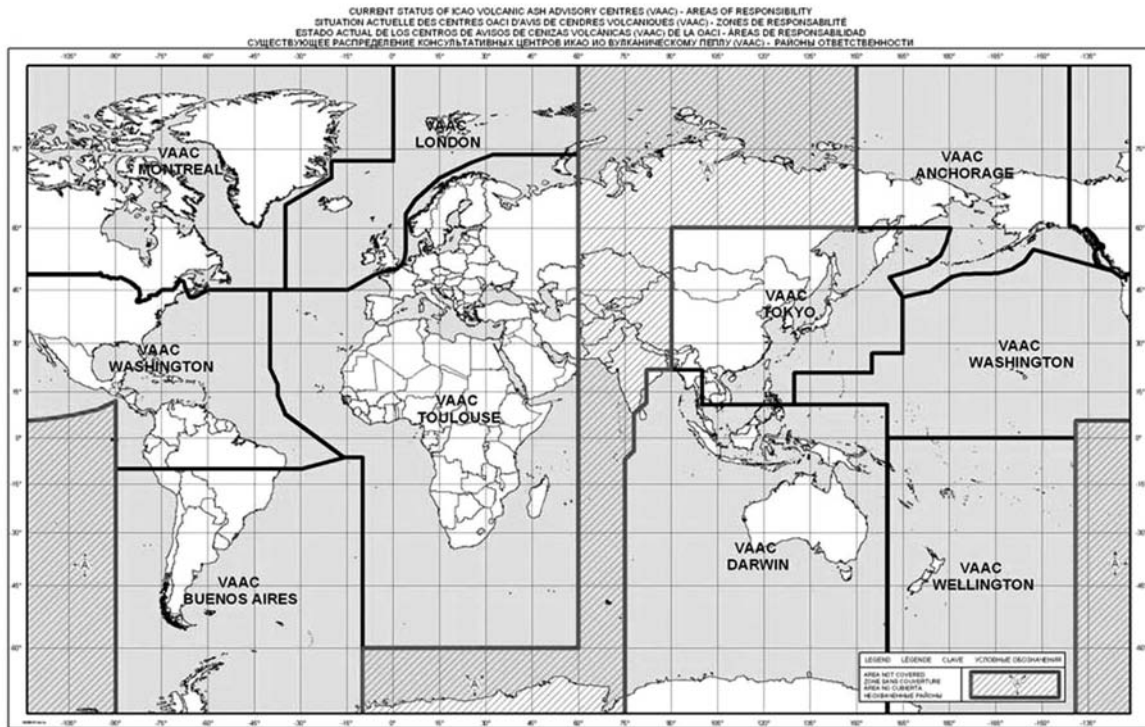
Un poco de historia

A lo largo del planeta se producen una media de 10 erupciones anuales, situadas fundamentalmente en el cinturón de fuego. Situado en las costas del océano Pacífico, se caracteriza por concentrar algunas de las zonas de subducción más importantes del mundo, lo que ocasiona una intensa actividad sísmica y volcánica en países como Chile, Perú, Ecuador, Colombia, en Centroamérica (Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras, El Salvador y Guatemala), México, los Estados Unidos, Canadá, luego dobla a la altura de las islas Aleutianas y baja por las costas e islas de Rusia, China, Japón, Taiwán, Filipinas, Indonesia, Papúa Nueva Guinea, Australia y Nueva Zelanda.

Sólo en Estados Unidos se han registrado hasta 56 erupciones de volcanes, 44 de ellos situados en Alaska. Las cenizas volcánicas lanzadas al espacio aéreo se componen fundamentalmente de sílices y basaltos, aunque se han contabilizado hasta 28 variedades distintas. Su tamaño medio se encuentra por debajo de las 50 μm (un cabello humano tiene un diámetro de 100 μm), aunque las más peligrosas para la aviación son las de tamaño inferior a 3 μm , debido a que pueden permanecer durante más tiempo en las capas más altas de la atmósfera y son más difíciles de detectar.

Sólo en el período comprendido entre 1980 y el año 2000 se reportaron más de 80 eventos de encuentros entre aeronaves comerciales y nubes de cenizas volcánicas incluso a niveles de vuelo por encima de FL300. A esta altura los vientos de la estratosfera las puede transportar a miles de kilómetros de distancia. De hecho, las pequeñas partículas de ceniza, en su mayoría similares en tamaño al polvo de una lija fina, y los gases sulfurosos pueden permanecer en la estratos-





Áreas de control de los centros de alerta de erupciones volcánicas.

fera durante años. El efecto en las aeronaves abarca desde un ligero deterioro en las prestaciones de los motores hasta el apagado simultáneo de todos ellos. Sin embargo, en ninguna de las ocasiones se ha producido un accidente catastrófico ya que incluso en el peor caso fue posible el reencendido de los motores.

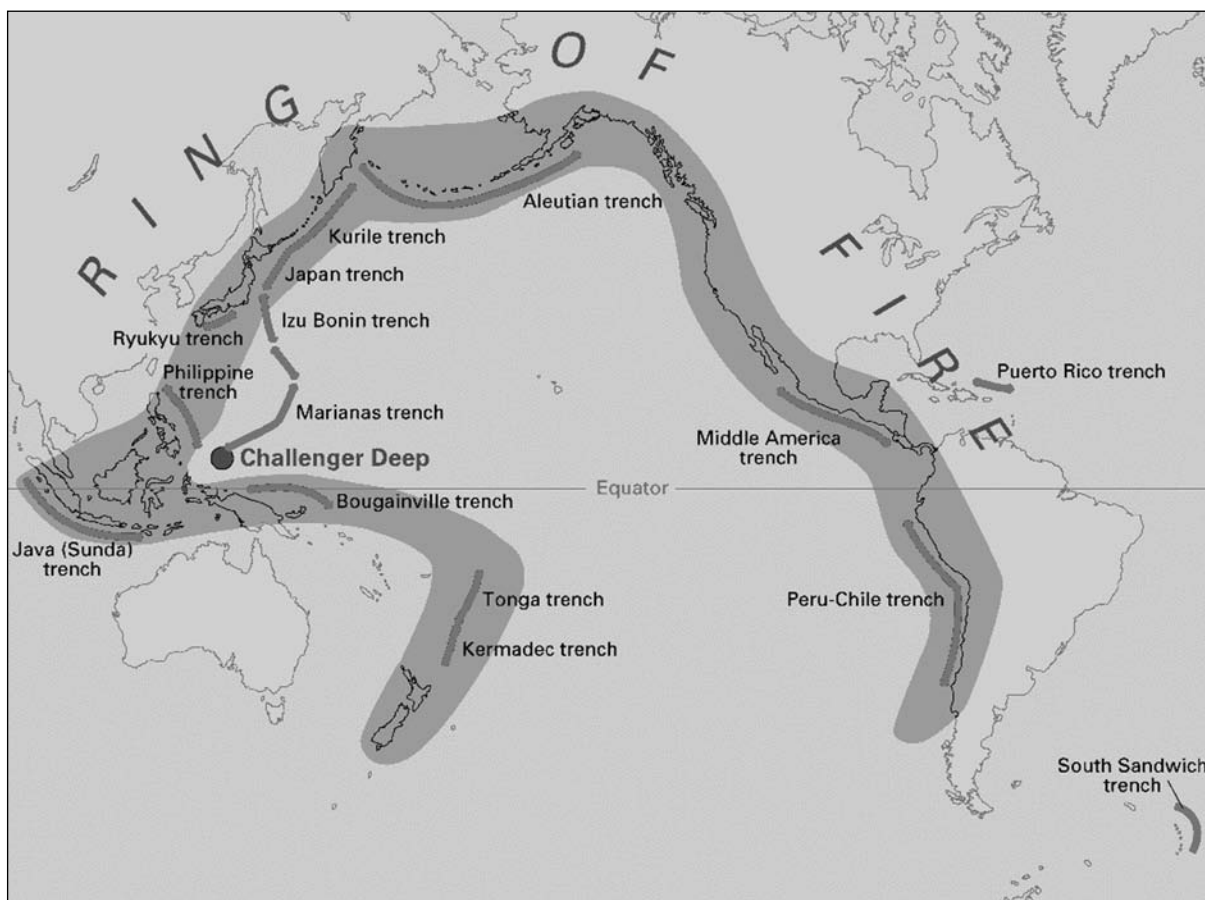
Por ejemplo, en 1980 tanto un Boeing B727 como un DC-8 interceptaron en su trayectoria de vuelo las cenizas del volcán St Helens, en Estados Unidos. Ambas aeronaves sufrieron daños en los parabrisas y en diversos sistemas, pero fueron capaces de aterrizar sin incidentes.

Dos años más tarde, un Boeing B747 de British Airways sufrió el apagado simultáneo de sus cuatro motores cuando penetró en una nube de cenizas provenientes del volcán Galunggung (Indonesia) a nivel de crucero (FL360). El piloto comenzó entonces el procedimiento de reencendido y acabó descendiendo hasta FL125 antes de reanunciar los cuatro motores, gracias a que todavía existía suficiente potencia eléctrica, necesaria para generar la chispa de encendido, proveniente de un generador y de las baterías de a bordo. En aquella ocasión, el avión volvió a su operación normal de servicio pero tres de sus motores tuvieron que ser reemplazados. Aunque el espacio aéreo se cerró temporalmente al tráfico aéreo, se volvió a abrir unos pocos días después. Entonces, otro B-747, esta vez de Singapore Airlines, se vio obligado a apagar 3 motores, realizando finalmente el aterri-

je con sólo 2 motores. A cambio, consiguió de forma involuntaria el record Guinness de vuelo sin motor en una aeronave no diseñada para esta condición, récord que mantuvo hasta el incidente del Vuelo 236 de Air Transall. En aquella ocasión se estima que el coste asociado al paro de la aviación comercial fue de 250 millones de dólares.

En 1989 se volvió a experimentar una situación similar, cuando todos los motores se apagaron en otro B-747-400 de KLM, con apenas 900 horas de vuelo y que se encontraba sobrevolando Anchorage (Alaska) y se encontró en su camino una nube de cenizas provenientes del volcán Redoubt. Aunque el piloto intentó evitar la nube de cenizas comenzando una maniobra de ascenso, los cuatro motores se apagaron apenas 3.000 pies después. De nuevo, la tripulación pudo reencender los motores, después de perder casi 13.000 pies y realizar un aterrizaje sin nada que lamentar, aunque el coste de la reparación de la aeronave y sus motores ascendió a 80 millones de dólares. Se tuvo que cambiar el sistema de control ambiental, limpiar los tanques de combustible, reparar el sistema hidráulico y los cuatro motores tuvieron que ser reemplazados. Una reparación demasiado costosa que no se hubiera llevado a cabo si el avión no hubiera sido nuevo.

Finalmente, la erupción del volcán Eyjafjallajökull el 14 de abril de 2010 con más de 0,1 km³ de materia lanzando al espacio aéreo ha provocado quizá la



Cinturón de fuego del Pacífico.

mayor interrupción de vuelos comerciales de la historia, superando incluso las consecuencias de los atentados del 11-S en Nueva York. Se estima que apenas una semana después de la erupción el número de vuelos cancelados superaba los 95.000 y las pérdidas en el sector aéreo entre 1.500 y 2.500 millones de euros, debido al cierre de buena parte del espacio aéreo europeo, uno de los más saturados del planeta.

Effecto en la aeronave y en los motores

La seriedad de los incidentes protagonizados por el B747 de British Airways y el B747-400 de KLM concienciaron a las autoridades aeronáuticas de que el encuentro con cenizas volcánicas podía ser la causa de un potencial accidente aéreo. Hasta entonces, se sabía que los aviones podían tener dificultades en su vuelo debido al bloqueo de sondas de presión o *pitots* o al impacto de la ceniza sobre el parabrisas, como si se tratase de una tormenta de arena. Desde entonces, se sabe que las aristas de las partículas volcánicas de

mayor tamaño pueden erosionar fácilmente las piezas metálicas de material compuesto e incluso el cristal del parabrisas, las luces estroboscópicas o las antenas de comunicaciones. La abrasión del parabrisas puede reducir significativamente la visión frontal del piloto, lo cual puede representar un serio problema durante el aterrizaje, como así sucedió en 1982 con el B747 de British Airways, conocido también como el incidente de Yakarta, donde el piloto tuvo que emplear las ventanillas laterales para carretear por pista hasta llegar a la terminal.

Por otra parte, la abrasión de las antenas puede conducir a la pérdida completa de las comunicaciones de alta y muy alta frecuencia (HF y VHF) y como las cenizas pueden llevar una alta carga eléctrica estática, producida por la fricción entre ellas, puede dañar componentes electrónicos, además de dificultar su eliminación posterior. En el caso extremo se puede reemplazar la electrónica y la aviónica ante la posibilidad de haber sufrido sobrecalentamiento debido al bloqueo/contaminación de sus sistemas de refrigeración, lo que implica un gasto de reparación considerable, especialmente en aeronaves dotadas de mando electrónico (*“fly-by-wire”*).

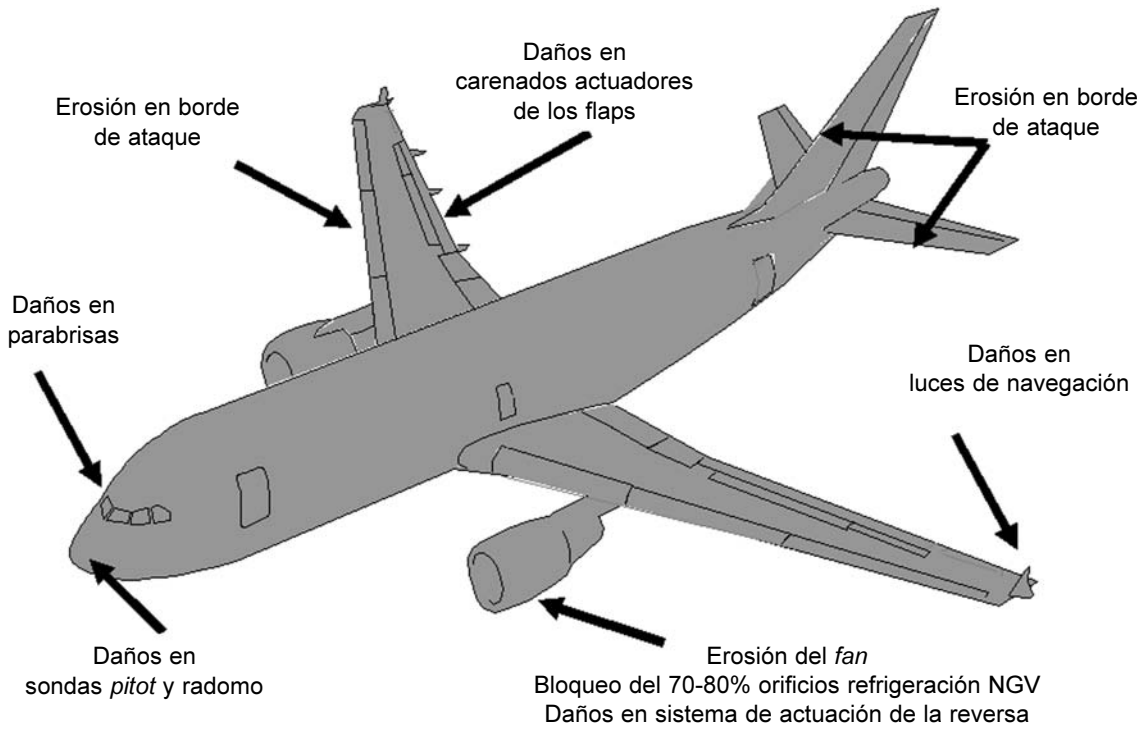
Las partículas abrasivas erosionan los álabes del *fan*, reduciendo sus prestaciones y aumentando el riesgo de inestabilidad

Aparecen depósitos en álabes y estatores de turbina, bloqueando orificios de refrigeración



Las partículas de cuarzo se funden en la cámara de combustión si los motores están funcionando a media-alta potencia

Efecto de la ceniza en el motor.



Efectos de la ceniza en el avión.

Debido a su pequeño tamaño, menor incluso de 1 micra (un pelo humano tiene 100 micras de diámetro), la ceniza puede penetrar en prácticamente todos los compartimentos del avión, bloqueando las sondas pitot y sistemas de aire con el riesgo asociado de pérdida de presurización en cabina. De hecho, uno de los daños más importantes que se producen en la aeronave es la pérdida de las sondas *pitot*, lo que puede dejar sin información de velocidad de vuelo al piloto y puede perturbar el funcionamiento del piloto automático.

Los sistemas de combustible, aceite, hidráulico y de refrigeración pueden sufrir una fuerte contaminación, lo que obliga a cambiar estos fluidos y todos sus filtros. El fuselaje también debe ser limpiado para eliminar los restos de cenizas así como el *cockpit*, el panel de fusibles o los compartimentos de pasajeros y carga. Las cenizas pueden contaminar los sistemas de detección de fuego de los compartimentos de carga, dando lugar a alarmas espurias no producidas realmente por la presencia de fuego.

El efecto en los motores puede ser más serio. Como el tamaño de las cenizas es muy reducido, gran número de partículas tienen poca inercia y son capaces de seguir las líneas aerodinámicas dentro del

motor. Como la lava volcánica está formada fundamentalmente por silicatos, su temperatura de fusión se encuentra alrededor de los 1.100 °C, muy por debajo de la temperatura en la cámara de combustión o en la turbina de los motores turbofán actuales a potencia media-alta. Por tanto, la ceniza volcánica se funde en esta zona y, especialmente, en los estatores (NGV) de la turbina de alta presión (HPT), dando lugar a una reducción progresiva del área de paso que contribuye a aumentar la línea de funcionamiento del compresor de alta (HPC) hasta el caso extremo de hacerle entrar en inestabilidad primaria (“surge”), produciendo una pérdida de potencia e incluso el apagado del motor.

Las evidencias encontradas durante el desmontaje de motores expuestos a ceniza volcánica muestran que estos depósitos en los NGV son muy frágiles, pudiéndose desprender fácilmente a temperatura ambiente. Este hallazgo confirma la facilidad con la que se han podido reencender los motores en vuelo, debido seguramente a que las capas de ceniza volcánica se desprenden de las superficies aerodinámicas por el choque térmico y de presión experimentado durante el reencendido o cuando los motores reducen su potencia al ralentí.



Erupción del volcán Etna vista desde el espacio.



Las cenizas pueden tener un fuerte efecto abrasivo en motores, antenas y sistemas de navegación del avión.

Todos los daños anteriores se producen mientras que la aeronave se encuentra en contacto con la nube de cenizas volcánicas. Sin embargo, también pueden aparecer otros daños a largo plazo debido a la combinación del dióxido de azufre (SO_2) emitido por el volcán con partículas de agua en suspensión en la atmósfera, lo que da lugar a ácido sulfúrico, que puede permanecer durante largas temporadas en las capas superiores de la atmósfera y que se caracteriza por ser muy estable. El funcionamiento de los motores en este entorno ácido produce un aumento de la corrosión de sus componentes, pero también afecta al fuselaje y a las ventanillas de la aeronave, especialmente las fabricadas en material acrílico, pudiendo dar lugar a microgrietas. Debido al menor intervalo entre inspecciones, su efecto se aprecia mejor en motores que en la propia aeronave, donde es difícil de distinguir de la corrosión producida por la presencia de sal en aeropuertos situados cerca del mar o de la polución en aeropuertos cercanos a grandes núcleos de población.

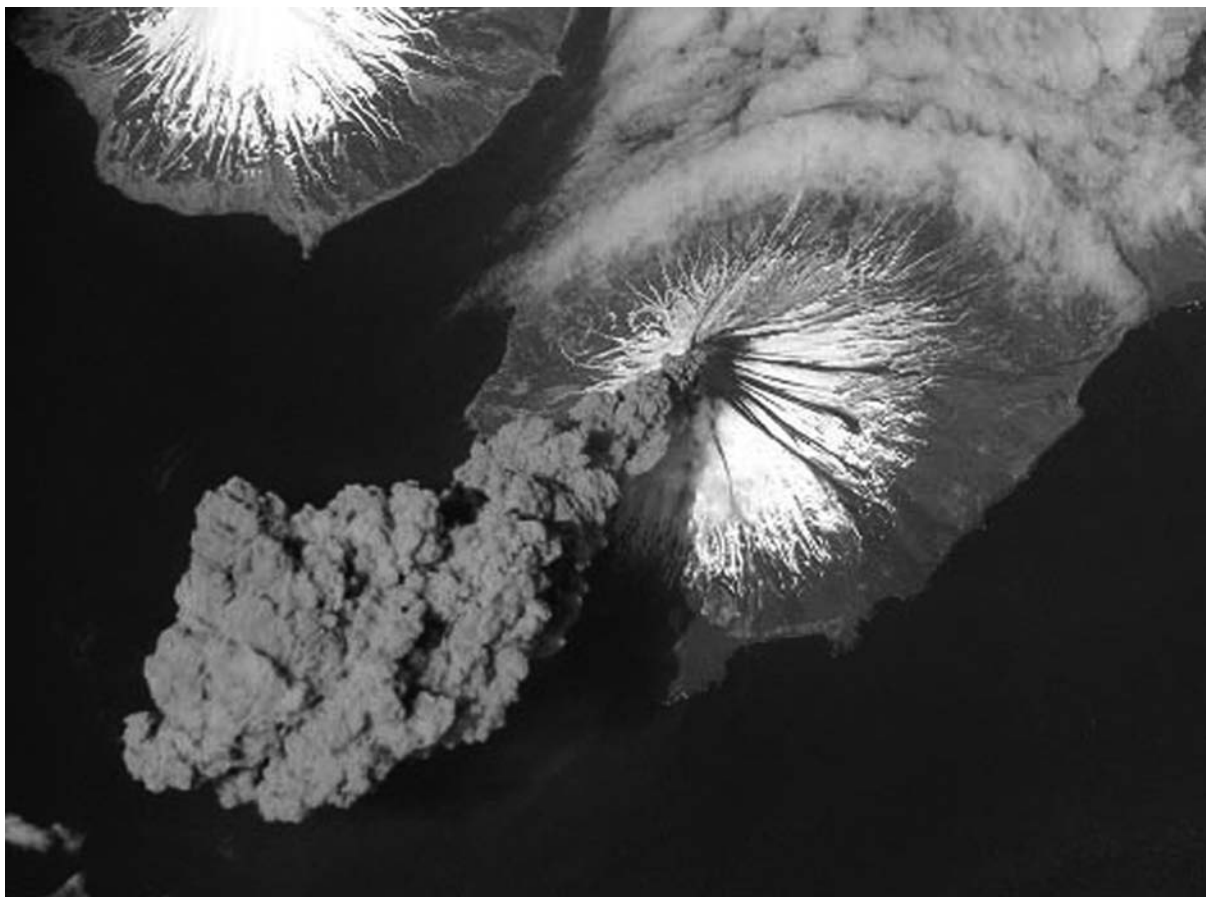
Estaciones radar en tierra

Existen tres fuentes fundamentales de información sobre la propagación de nubes de cenizas volcánicas en el espacio aéreo: estaciones radar en tierra, satéli-

tes y los propios pilotos de las líneas aéreas. Ninguna de ellas es suficiente por sí misma para conocer el tamaño de la nube y su evolución con el tiempo.

Las estaciones radar en tierra están optimizadas para detectar objetivos móviles, por ejemplo para el control del tráfico aéreo, o bien para detectar precipitaciones (radar meteorológico). Todos ellos trabajan en las bandas X, C, S y, ocasionalmente, en la L, con longitudes de onda que varían entre los 3 cm de la banda X hasta los 77 cm de la banda L. A pesar de que la banda idónea para detectar la ceniza volcánica sería la K, comprendida entre los 3 mm y los 3 cm, se pueden detectar las erupciones volcánicas fácilmente con los radares funcionando en banda X, debido a que se lanzan a la atmósfera piedras de diversos tamaños que pueden ser detectadas cuando la estación radar se encuentra a menos de 100 km del volcán.

La detección de las nubes de ceniza volcánica con partículas mucho más pequeñas, sería posible instalando estaciones radar en banda K en las cercanías de los volcanes. Con la tecnología doppler y la polarización de la señal se podría incluso monitorizar tanto la variación del tamaño de las partículas como su forma y velocidad. Sin embargo, el coste asociado a este sistema de monitorización sería excesivamente elevado, ya que los volcanes pueden permanecer inactivos durante décadas e incluso siglos.



Las cenizas volcánicas se asemejan en tamaño al polvo de lija y pueden ser muy erosivas.

||| Satélites

En este sentido, el uso de satélites parece la forma más idónea de monitorización de la actividad volcánica, aunque tampoco está exenta de problemas. Existen dos tipos básicos de satélites, según su órbita sea polar o geoestacionaria. En el primer caso, los satélites se encuentran a una altura comprendida entre los 700 y los 1.200 km y se caracterizan porque pasan sobre los mismos puntos a aproximadamente la misma hora, realizando una observación completa del globo terráqueo cada 24 horas. En el caso de los satélites geoestacionarios, la órbita ronda los 36.000 km y siempre se encuentran observando el mismo punto sobre la superficie de la tierra. Los satélites polares ofrecen una mejor resolución, para la misma tecnología, debido a su menor distancia al suelo, aunque únicamente dos veces al día, y se suelen utilizar para predicciones meteorológicas, mediciones ambientales, navegación, mapeo de la superficie y labores de búsqueda, mientras que los geoestacionarios se emplean fundamentalmente para telecomunicaciones y predicciones meteorológicas.

Los satélites polares suelen incorporar cinco sensores de alta resolución: dos en longitudes de onda visibles y tres en infrarrojos. Al igual que las estaciones radar, estos sensores no están optimizados para detectar ceniza volcánica. Aún así, sería posible detectarlas debido a la diferencia en las características emisivas de los silicatos que forman la ceniza volcánica comparada con el agua o el hielo presente en las nubes. El agua tiene una emisibilidad elevada en el ancho de banda comprendido entre 11 μm a 12 μm comparada con la de los silicatos. De esta manera, sustrayendo los datos obtenidos del canal 5 al canal 4 de infrarrojos es posible crear una imagen falsa que resalte las diferencias y permita una separación entre las nubes de agua de las de ceniza.

Los satélites polares también se pueden emplear para detectar dióxido de sulfuro (SO_2) y monitorizar así las nubes volcánicas, gracias a que el SO_2 tiene una banda de absorción ultravioleta semejante a la del ozono (O_3) y se pueden aprovechar los sensores de ozono instalados en múltiples satélites actuales. Cuando la concentración de SO_2 es alta, resulta aún más fácil discriminar sus radiaciones de las del ozono. De hecho, como consecuencia de la erupción del vol-



Las nubes de cenizas pueden alcanzar alturas por encima de 37.000 pies.

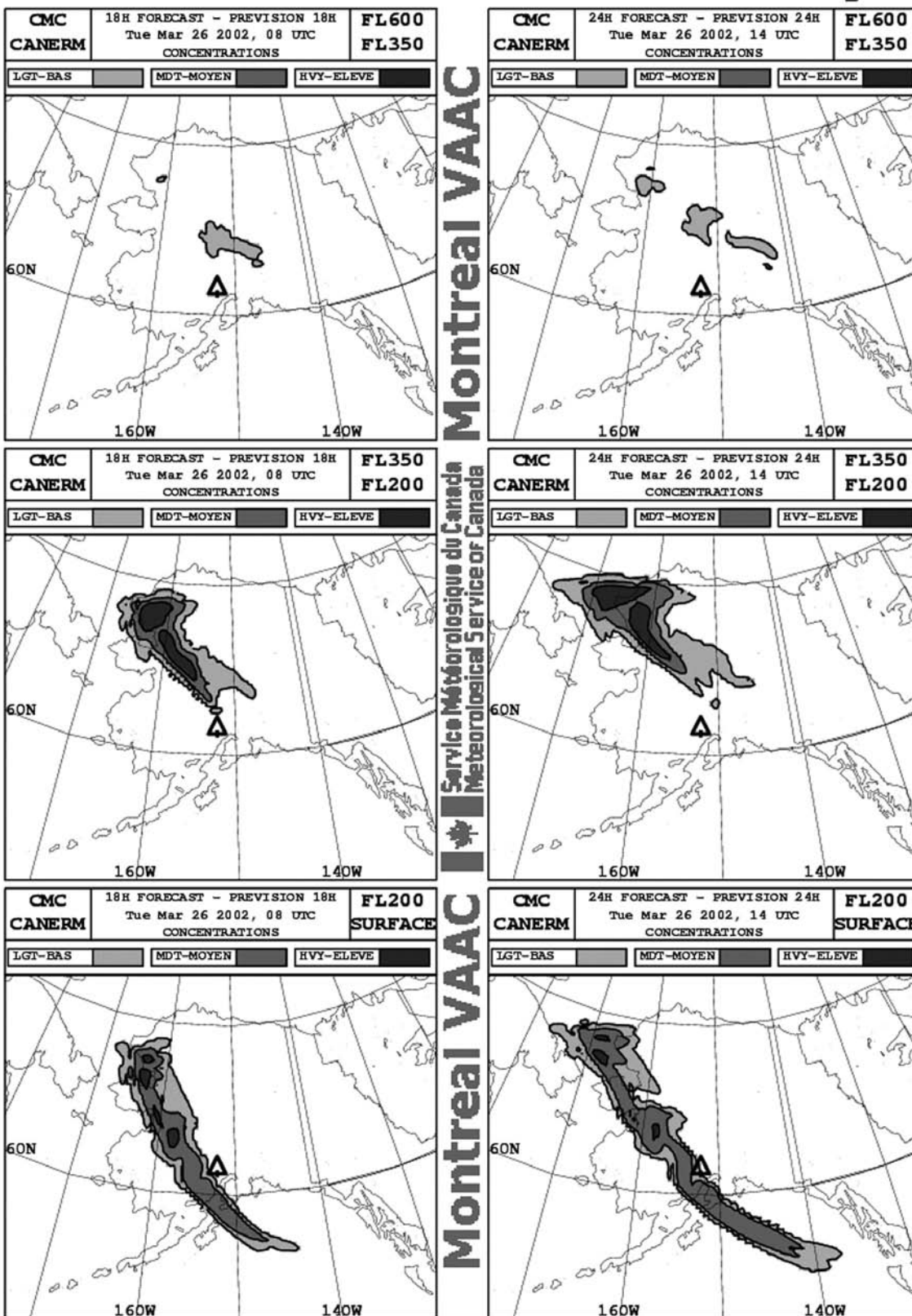
cán Eyjafjallajökull el 14 de abril de 2010, la NASA comenzó a dar soporte a Europa a partir del 19 de abril, proporcionando mediciones provenientes del satélite EOS-aura de concentraciones de dióxido de sulfuro (SO_2). Sin embargo, aunque se podría posicionar la nube en el mapa, se ha evidenciado que resulta muy difícil establecer a qué altura se encuentra por medio de esta técnica. Se tuvo que recurrir a instalaciones de la agencia espacial francesa (CNES) para confrontar las mediciones del LIDAR (*"Laser Imaging Detection and Ranking"*), instalación que funciona igual que un radar pero empleando un rayo láser en lugar de señales acústicas) y del satélite Calipso de observaciones infrarrojas para poder conseguir mediciones más precisas. Precisamente el LIDAR, capaz de detectar prácticamente cualquier aerosol incluyendo cenizas volcánicas, parece ser el instrumento más eficaz a ser empleado en satélites,

estaciones de tierra, en vuelos experimentales de aviones laboratorio e incluso en un futuro en la aviación comercial.

En el caso de los satélites geoestacionarios, se suelen instalar habitualmente sensores en los anchos de banda $0,5 - 0,9 \mu\text{m}$ (visible), $5,7 - 7,1 \mu\text{m}$ (infrarrojo vapor de agua) y $10,5 - 12,5 \mu\text{m}$ (infrarrojo). Este reducido número canales, unido a la mayor distancia a la superficie, reducen significativamente su capacidad para detectar cenizas volcánicas. Sin embargo, algunos satélites sí incluyen sensores adicionales, como el *Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager* (SEVIRI) del Meteosat-8, que se podrían emplear para detectar nubes de cenizas volcánicas.

De lo expuesto anteriormente, se deduce que detectar una erupción volcánica conocida y monitори-

**FORECAST OF VISUAL VOLCANIC ASH PLUME
PREVISION DU PANACHE VISIBLE DE CENDRES VOLCANIQUES**

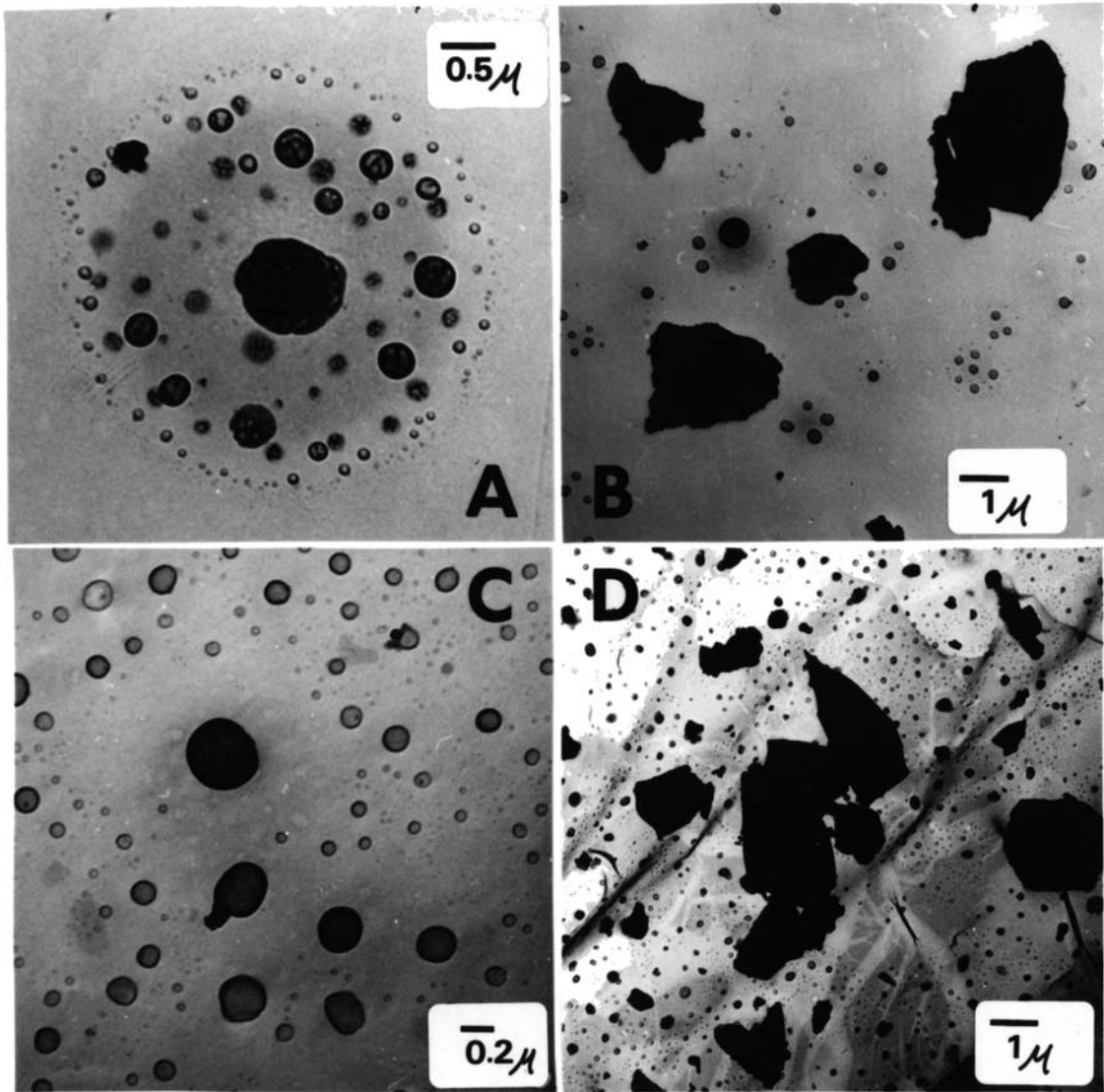


Montreal VAAC
Service Météorologique du Canada
Metereological Service of Canada

SOURCE : SPURR TEST 61 18' N 152 15' W
ERUPTION : Mon Mar 25 2002, 1400Z
DURATION : 1 Hour(s)
ASH CLOUD TOP : FL328
CYCLE : (10.0, 18, TC, VC)

FOR GUIDANCE ONLY
NOT AN OFFICIAL FORECAST
SEE CURRENT SIGMET FOR WARNING AREA

Modelo de predicción de evolución de nubes de cenizas volcánicas.



Muestras de partículas volcánicas.

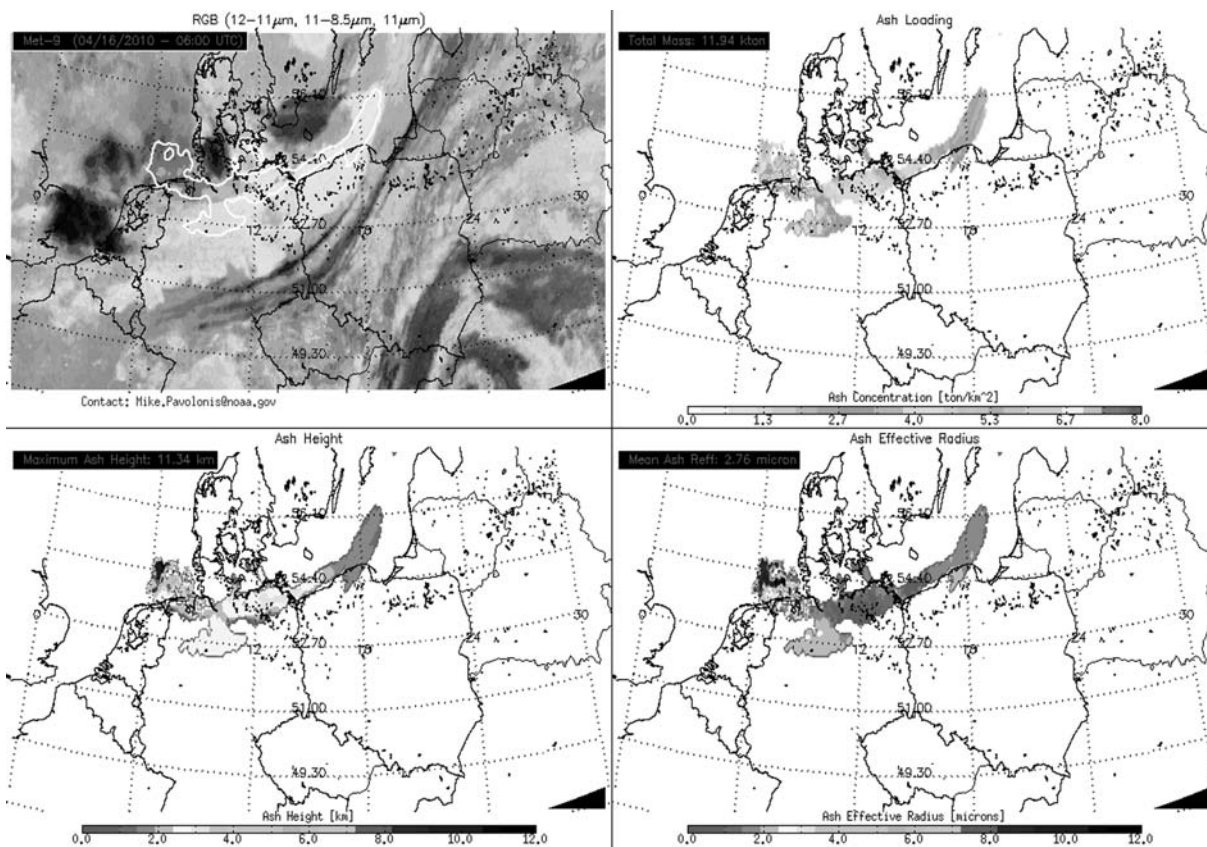
zarla es posible empleando satélites. Sin embargo, detectar una erupción volcánica completamente desconocida es extremadamente difícil con este sistema.

La Oficina de Alertas de Cenizas Volcánicas

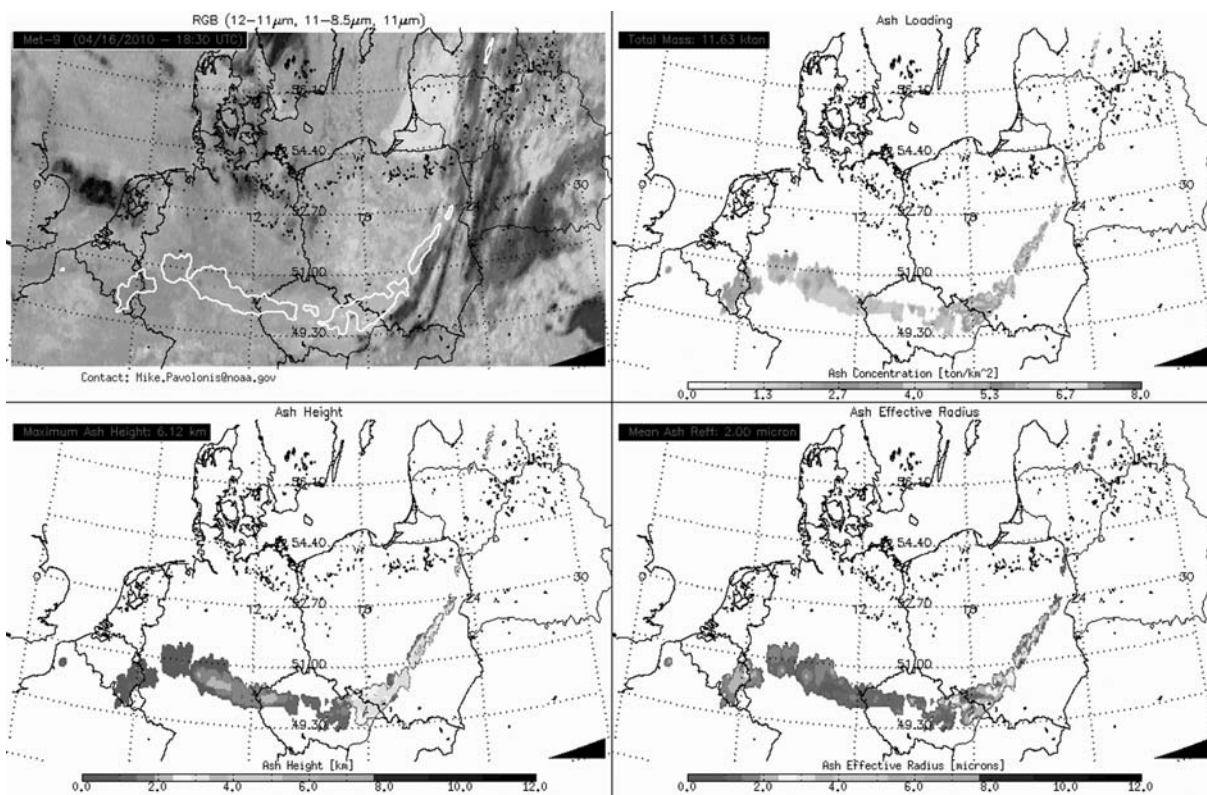
Como consecuencia del apagado simultáneo de todos los motores del Boeing B-747 de KLM en 1989 y la erupción de Pinatubo en 1991, se organizó una conferencia internacional en Seattle en julio de 1992, con la participación de la industria aeronáutica, meteorólogos y especialistas en volcanes. Como consecuencia de aquella primera reunión, la Organización Aviación Civil Internacional (OACI) creó un grupo de trabajo de investigación de alertas de cenizas volcánicas a las aerolí-

neas y se crearon nueve Centros de Aviso de Cenizas Volcánicas (VAAC - *Volcanic Ash Advisory Centres*) a lo largo de todo el planeta para coordinar la información proveniente de observatorios de volcanes, agencias meteorológicas, centros de control aéreo y operadores. De esta manera, se puede determinar la posición exacta de las nubes de cenizas volcánicas y establecer las trayectorias de vuelo para que las aeronaves puedan evitarlas.

Los nueve centros de VAAC se encuentran en Londres, Toulouse, Washington, Buenos Aires, Wellington, Darwin, Montreal, Anchorage (Alaska) y Tokio y realizan regularmente ejercicios de simulación de erupciones volcánicas con emisiones de cenizas en el espacio aéreo. En estos ejercicios, denominados VOLCEX ("*Volcanic Exercise*"), participan autoridades aeronáuticas, centros de control de tráfico aéreo,



Nube de cenizas el día 16.04.2010 a las 6 horas.



Nube de cenizas el día 16.04.2010 a las 18 horas.

compañías aéreas, institutos meteorológicos y observatorios de volcanes, con el fin de mejorar las respuestas ante estos fenómenos y los planes de contingencia más apropiados para cada región.

Precisamente el último VOLCEX tuvo lugar el pasado 2 de marzo, donde se simuló la erupción de un volcán en la isla de Faial, en las islas Azores, y que potencialmente cubría el espacio aéreo de Lisboa y se extendía a través de España por el centro y norte de Europa. La segunda parte de la simulación cubría otra potencial nube volcánica que se dirigía al sur, en dirección a Canarias. Iberia fue una de las aerolíneas participantes en este ejercicio debido a que se vería muy afectada tanto en los vuelos de largo recorrido

como en los de corto y medio radio. Desde su Subdirección de Control de Red se analizó la situación y se tuvieron que cancelar 16 vuelos, cambiar de ruta 19 y retrasar otros diez, además de planificar rutas alternativas para evitar las zonas de riesgo, en función de la evolución de las nubes volcánicas. A su vez, los pilotos fueron informados en su despacho de vuelo y se les entregó un dossier con información adicional al manual de operaciones

Desafortunadamente, la realidad se ha anticipado a estos ejercicios de simulación, ya que en noviembre de 2010 estaba previsto realizar el mismo ejercicio en el área de Islandia. En 2011, se simulará una erupción en las islas Canarias. Crucemos los dedos.