

CABO GRIM — LA ESTACIÓN AUSTRALIANA DE REFERENCIA PARA LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Por P. G. PRICE*, J. D. JASPER* y A. H. DOWNEY*

Antecedentes

La preocupación ampliamente extendida por la influencia de los impactos humanos sobre el medio ambiente mundial ha puesto de relieve la necesidad de tener series cronológicas más precisas de magnitudes geofísicas fundamentales. Son de particular importancia aquellos datos que describen el cambio en la composición de la atmósfera de referencia, cuyas características puede decirse que representan a la atmósfera en conjunto. La estación de referencia para la contaminación atmosférica de Australia (ERCA) de Cabo Grim, Tasmania, fue establecida para vigilar ese estado de referencia como un componente fundamental de la Vigilancia de la atmósfera mundial (VAM) de la OMM; es de primordial importancia dentro del esfuerzo internacional el comprender mejor las complejas interrelaciones existentes entre la composición atmosférica y el clima mundial.

La estación

Para poder asegurar una vigilancia a largo plazo en condiciones de referencia, dos de los requerimientos son que la estación deberá estar alejada de los centros de población y que sea estable la utilización de los terrenos que la rodean. La primera condición está bien conseguida en Cabo Grim: situado a 40° 41' S 144° 41' E sobre un promontorio que se eleva hasta 94 m por encima del Océano Austral, se encuentra en una zona cercada dentro de las 22 000 ha de la Compañía de la Tierra de Van Diemen (TVD), propiedad dedicada al pasto y a la agricultura, y que está a 40 minutos de automóvil de la población más cercana, Smithton (población: 3 000). También está asegurada la estabilidad del medio ambiente local: además de encontrarse dentro de la TVD,

una zona amortiguadora de 30 ha rodea a las 5 ha de la estación.

El promontorio de Cabo Grim es una de las zonas más panorámicas de Tasmania y las vistas desde la estación incluyen la de una lejana playa en Valley Bay y los Doughboys, dos pequeñas islas hacia el noroeste. También es notable la zona por su fauna.

La estación fue inaugurada en diciembre de 1981. Construida con madera indígena para armonizar con el medio, está provista de sofisticados laboratorios, talleres, locales de oficinas y de residencias para los científicos visitantes. Los sistemas de vigilancia automática y de análisis de los laboratorios transfieren sus datos al ordenador para su control de calidad y archivo. La zona de la azotea —de unos 3 x 10 m— contiene las tomas de aire y los muestreadores, un anemómetro y el equipo de radiación solar.

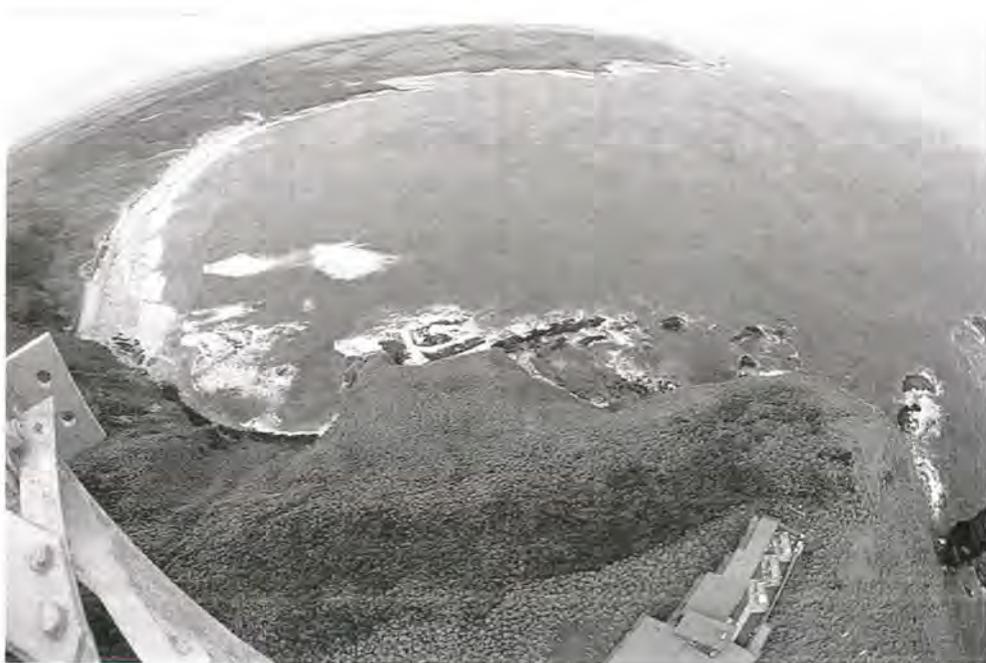
En 1984, se construyó una torre de 74 m, próxima a la estación, a cargo de la jefatura nacional de telecomunicaciones, para tener un enlace de microondas con el continente. Se ha conseguido un buen uso científico: tomas de los muestreadores de radón y de dióxido de carbono y de sus isótopos a 70 m y ahora hay un anemómetro y una veleta a 50 m.

El apoyo administrativo y logístico de la estación lo proporciona una oficina de Smithton



Vista aérea de la estación y de las islas próximas.
Foto: D. Whillans, CSIRO.

* Servicios científicos y técnicos, Bureau of Meteorology, Australia.



*Cabo Grim — Vista desde la torre de comunicaciones con un objetivo ojo de pez.
Foto: D. Whillas, CSIRO*

que también tiene taller, almacén y biblioteca. Desde aquí un enlace con el ordenador permite la vigilancia en tiempo real de los instrumentos y condiciones de la estación.

La estación está financiada y administrada por el Bureau of Meteorology y su programa científico está supervisado conjuntamente por el Bureau y la Organización de Investigación Científica e Industrial de la Commonwealth (CSIRO).

El programa científico

El pequeño número de estaciones de referencia existentes en todo el mundo, la necesidad de que sean estrictamente comparables los datos y la creciente importancia de los datos de la BAPMoN otorgan una gran responsabilidad a los científicos y técnicos para asegurar que se han desarrollado y empleado la mayoría de las técnicas más actualizadas y de medida más exacta. Bajo este aspecto, Cabo Grim ha estado con frecuencia a la cabeza del mundo en el desarrollo de las técnicas necesarias para la medida y selección de datos.

Para mantenerse en esta posición, los administradores científicos de la estación han otorgado un énfasis importante a la investigación y al desarrollo como apoyo para

la vigilancia. Cada uno de los programas de vigilancia está supervisado por destacados científicos de la División de Investigación Atmosférica de la CSIRO, de la Organización australiana de Ciencia y Tecnología Nuclear, del Laboratorio de Análisis del Gobierno australiano y del Bureau of Meteorology. También es muy importante la cooperación internacional.

La actividad científica y técnica de Cabo Grim tiene una serie de aspectos importantes:

- Muestreo del aire (particularizado por componentes) y la vigilancia en tiempo real de las magnitudes meteorológicas.
- Análisis químico de las muestras.
- Adquisición de datos, control de calidad y archivo.
- Investigación y desarrollo.
- Ajuste de los datos al introducir nuevas calibraciones.

Las medidas

Gases

Los gases que se muestrean son: dióxido de carbono y metano, que tienen un efecto directo sobre el balance radiativo de la atmósfera; los

óxidos de nitrógeno, que reflejan el ecosistema mundial en relación con el ciclo del nitrógeno; y los clorofluorocarbonos (CFC) y kriptón-85, que indican la contaminación mundial debida a los compuestos básicamente fabricados por el hombre. Medidas del ozono de la baja troposfera, que se origina mediante los procesos fotoquímicos, la química troposférica y el transporte desde la estratosfera, y que se usan en una serie de importantes estudios y como indicador del aire estancado (debido a la rápida destrucción del ozono en la superficie del suelo).

El óxido de carbono juega un importante papel en el balance del ozono troposférico y en las interacciones químicas del radical hidroxilo. Su concentración casi constante, ha aumentado en los últimos años debido a fuentes antropogénicas. Las proporciones relativas de los isótopos del carbono en el dióxido de carbono proporcionan una información muy valiosa sobre el ciclo del carbono y, en particular, permiten el cálculo de las contribuciones relativas de las fuentes del carbono antropogénicas y naturales, así como de los sumideros oceánicos y ecológicos del carbono.

La concentración del radón se deduce a

través de la degradación de sus componentes. Es un importante trazador del aire continental y muy útil en los estudios de transporte de masas de aire.

Aerosoles

En esta estación se investigan varios aspectos de los aerosoles atmosféricos. La concentración de los núcleos de condensación (NC) proporciona una buena medida del contacto previo que ha tenido una parcela de aire con fuentes antropogénicas y, también, de los niveles de producción de partículas en el fondo atmosférico natural. La distribución de tamaños de los NC proporciona información ulterior sobre las clases de tamaño específico de partículas micrónicas y submicrónicas. Asimismo, se determina la concentración de los núcleos de condensación en nubes (NCN). Estas partículas juegan un importante papel en el control de las propiedades microfísicas de las nubes estratiformes, en las cuales, a su vez, las propiedades ópticas de la nube dependen de las implicaciones concurrentes respecto al balance de la radiación global. De forma similar, las concentraciones de núcleos de hielo tienen gran importancia al regir las propiedades microfísicas de las nubes heladas.



Cabo Grim— Vista de la estación desde la playa.

Foto: D. Whillans, CSIRO

La medida de la extinción total integrada proporciona información sobre los efectos directos de los aerosoles en el balance de radiación procedente de partículas distribuidas a través de todo el espesor de la atmósfera.

Radiación

El programa de radiación solar de Cabo Grim mide la luz solar, la radiación global, difusa y la ultravioleta-A, así como la duración de insolación. Estas medidas pueden usarse en estudios de la influencia de la composición atmosférica en la cantidad y el tipo de energía solar que llega a la superficie de la Tierra. Los componentes atmosféricos que afectan a la irradiancia solar en la superficie incluyen a los aerosoles de fuentes naturales (por ejemplo, la erupción de *El Chichón* en 1982, cuyos efectos continuaron hasta 1984) y a los aerosoles fabricados por el hombre, que constituyen en la actualidad el 18 por ciento de la carga total de aerosoles.

Química de la precipitación

Las medidas de la acidez de la precipitación, su contenido en sulfatos, nitratos y otros iones, muestra el efecto integrado de la composición de la atmósfera a través de la cual cae la lluvia y permite formular deducciones sobre el origen de la masa de aire. La mayoría de los contaminantes importantes, excepto los compuestos de carbono, son ocasionalmente convertidos en aerosoles que influyen en las propiedades ópticas del aire. En consecuencia, el análisis de la precipitación proporciona una medida de la carga de sustancias en traza en la baja troposfera y de la capacidad de autolimpieza de la atmósfera. Estas medidas pueden utilizarse también para estimar la contribución de la lluvia a los elementos que se encuentran en el suelo.

Meteorología

La medida de los parámetros meteorológicos físicos tradicionales es esencial para la determinación de la climatología a largo plazo del lugar y, asimismo, para la interpretación de las medidas de otros programas. Las características de las masas de aire son una herramienta importante utilizada en la selección de otros datos de la composición atmosférica que reflejan la verdadera condición de la base de referencia. El transporte a larga distancia y los efectos en la situación local son otros temas de estudio, como lo son los efectos



*Cabo Grim — Zona de la azotea.
Foto: D. Whillas. CSIRO*

sobre los datos registrados en la estación de las anomalías planetarias a gran escala tales como el fenómeno de *El Niño/Oscilación del Sur*.

Técnicas

Las concentraciones cuantitativas de los gases radiativamente activos son esenciales para los modelos del clima mundial y, por lo tanto, las medidas deben tener un alto nivel tanto de exactitud como de precisión. Los datos BAPMoN son esenciales para definir las distribuciones geográficas de los distintos compuestos y de las características atmosféricas y para determinar las tendencias cronológicas. Gran parte del trabajo de la estación está dirigido a estos fines: asegurar que las medidas estén lo más cercanas posible a los valores verdaderos (pero básicamente desconocidos) y que los métodos usados den resultados que sean reproducibles y concordantes respecto a los obtenidos en otros laboratorios de todo el mundo. (Para un tratamiento completo de las técnicas usadas véase a Ayers y Gillet (1990)).

Para deducir estadísticas significativas, debe tenerse en cuenta la probable variabilidad

de la sustancia o magnitud objeto del estudio. Esta variabilidad y los valores absolutos determinarán también, en gran manera, la medida de la técnica utilizada. Por ejemplo, el dióxido de carbono con una concentración media de unas 350 partes por millón en volumen (ppmv) está aumentando en casi 1 ppmv al año (es decir, casi un 0,3 por ciento). Las técnicas de medida usadas han detectado esta tendencia a largo plazo y las fluctuaciones diarias y estacionales, que pueden ser de 10 a 50 veces mayores.

Para la mayoría de los compuestos químicos, el aire es bombeado desde los niveles de 10 y 70 m y repartido en los caudales adecuados para los equipos tales como el cromatógrafo de gases. Para la calibración frecuentemente se inyecta en cada analizador una cantidad medida de un gas normalizado.

También se hacen de forma rutinaria recogidas del aire completo. Este procedimiento en el que el aire, que se ha desecado criogénica o químicamente, es bombeado hacia unos frascos especialmente preparados y se utiliza para el almacenamiento y envío de las muestras a otros centros como apoyo a programas de cooperación o para complementar los propios programas de la estación.

Otros componentes atmosféricos, tales como el tritio, los metales pesados y el carbono elemental se analizan en la lluvia en Cabo Grim. Algunas muestras se envían a laboratorios de ultramar como parte del programa de cooperación. La recogida de componentes se hace también mediante la exposición de reactivos al aire y su análisis posterior, para medir los elementos en trazas y los gases, tales como los isótopos de carbono. Por ejemplo, el hidróxido sódico se emplea para fijar el dióxido de carbono atmosférico y determinar la relación de los isótopos del carbono. Algunos componentes tales como las sales marinas y los iones de sulfato, potasio y magnesio se fijan haciendo pasar el aire a través de un filtro para su análisis químico posterior.

Un desafío constante para los científicos de Cabo Grim es el refinar la definición de aire de observación de referencia. La definición básica actual tiene dos condiciones; la dirección del viento entre 190° y 280° y la concentración de partículas menor de 600 cm⁻³. La velocidad del viento es, por tanto, muy

importante para la interpretación de los datos. Las condiciones de referencia aplicadas durante sólo el 40 por ciento del tiempo y de su estacionalidad —particularmente el máximo invernal— es concordante con el movimiento longitudinal de la dorsal subtropical.

Se han experimentado condiciones distintas a las de referencia cuando el aire procede del continente australiano o del interior de Tasmania. Los datos (por ejemplo, en el caso del radón, que emana fundamentalmente de la superficie de la tierra) muestra picos bien definidos bajo esas condiciones.

El establecimiento de la calidad de los datos en cualquier control medioambiental comienza con la elección de la situación y de las técnicas, y se mantiene mediante un estricto seguimiento de los procedimientos bien establecidos. Sin embargo, las técnicas se refinan mediante la identificación de fuentes probables de error: los datos son reexaminados y corregidos. En este caso las técnicas deben ser modificadas para reducir o eliminar errores. Por ejemplo, los datos de los fotómetros solares han sido refinados mediante la aplicación de una técnica con la cual los datos de la aureola se usan para suplementar a los procedentes de técnicas más tradicionales. Como resultado, los datos presentan ahora una varianza de un orden de magnitud mejor que los obtenidos previamente (véase Forgan, 1989).

Los datos

Los datos recopilados en Cabo Grim forman un valioso archivo de los cambios que han tenido lugar en la composición de la atmósfera del hemisferio sur a lo largo de los últimos 13 años. Quizás el más notable ha sido el de los denominados gases invernadero, de los cuales el dióxido de carbono (después del vapor de agua) es el más importante. Este gas se ha medido con alta precisión en el sureste de Australia desde 1958 y en Cabo Grim desde 1976. Beardsmore y Pearman (1987) han resumido la medida regional australiana de este importante componente atmosférico que está aumentando en su concentración a razón de algo más de 1 ppmv por año. El metano y el óxido nítrico —otros gases radiativamente activos de importancia— también han demostrado que están aumentando.

Los datos de Cabo Grim muestran que la concentración del metano está aumentando a razón de casi un 1 por ciento al año. Blake y

Rowland (1988) han informado que el metano, que es molécula a molécula 20 veces más eficaz que el dióxido de carbono como gas invernadero, puede haber sido el responsable de un aumento del vapor de agua estratosférico de un 20 por ciento desde los años 40 y un 45 por ciento en los dos últimos siglos. Tomados en conjunto, los gases radiativamente activos distintos del dióxido de carbono han añadido, de acuerdo con Wigley (1987), un 80 por ciento al forzamiento radiativo resultante del aumento de la concentración del anhídrido carbónico atmosférico. Esto significa que podría tener lugar antes del año 2020 una duplicación del equivalente al nivel del anhídrido carbónico preindustrial.

Molina y Rowland (1974) postularon que ciertos halocarbonos fabricados por el hombre, en particular el CFC-11 y el CFC-12, se fotodisociarían en la estratosfera, desprendiendo cloro que podría catalizar las reacciones que destruyen el ozono. Los registros del CFC-11 de Cabo Grim son unos de los más completos del mundo.

La concentración de radón y de aerosoles puede utilizarse para estudiar el transporte atmosférico. El radón, emitido casi exclusivamente por el suelo, es un buen indicador del aire continental. Se pueden realizar estudios más detallados del transporte utilizando trazadores más específicos tales como el CFC-11, el cual tiene fuentes importantes en las grandes ciudades.

Los aerosoles fabricados por el hombre y el dióxido de azufre tienen una influencia importante en las propiedades ópticas de la atmósfera. Hinzpeter (1986) informó que las emisiones debidas al hombre habían aumentado el albedo el 1 por ciento desde los 30° hasta los 70° N. Los datos de Cabo Grim se utilizarán para estudiar los efectos de la fluctuante concentración de aerosoles.

Observaciones finales

La creciente concienciación pública y política respecto a los problemas medioambientales y la divergencia de la opinión científica en temas tales como los futuros escenarios del clima, realzan la necesidad de exactitud en los datos representativos de referencia. Por ejemplo, un paso esencial en la modelización del clima debe ser el comprender el modo actual en que funciona la atmósfera. Tal comprensión se basará cada vez más en las pequeñas variaciones de los términos del balance

radiativo los cuales, a su vez, pueden depender del conocimiento de las complejas reacciones e interacciones que se produzcan. La importancia de estaciones tales como Cabo Grim está, por consiguiente, asegurada. Nuestros planes para el futuro incluyen:

- Una mayor modernización del sistema de recopilación, proceso y archivo.
- Introducción de un programa para el fogseno.
- Ampliación de la vigilancia de la radiación UV.
- Cooperación con otros miembros de la OMM para intensificar la VAM en nuestra Región.

La creación de la estación fue una iniciativa previsoras de la comunidad meteorológica de Australia y del gobierno. La recopilación de los datos y las investigaciones emprendidas continuarán siendo el centro de nuestra participación —con la del resto del mundo— en la investigación de los escenarios del clima que están relacionados con la composición fluctuante de la atmósfera.

Agradecimientos

Los autores agradecen la información sobre los resultados del programa, suministrada por el personal de la Estación para la contaminación atmosférica de Cabo Grim y por los directores científicos.

Referencias

- AYERS, G. P. and R. W. GILLET, 1990: Tropospheric chemical composition: overview of experimental methods in measurement. *Reviews of Geophysics*, 19, 297-314.
- BEARDSMORE, D. J. and G. I. PEARMAN, 1987: Atmospheric carbon dioxide measurements in the Australian region: data from surface observations. *Tellus*, 39B, 459-476.
- BLAKE, D. R. and F. S. ROWLAND, 1988: Continuing worldwide increase in tropospheric methane, 1978 to 1987. *Science*, 239, 1129-1130.
- FORGAN, B. W., 1989: Aerosol optical depth. *Baseline 1987*. Bureau of Meteorology, Melbourne, 45 pp.
- FRASER, P. J., P. HYSON, I. G. ENTING AND G. I. PEARMAN, 1983: Global distribution and

southern hemispheric trend of atmospheric CCl_3F . *Nature*, 302, 692-695.

HINZPETER, H., 1986: Influence of man-made SO_2 and particle emission on the global aerosol concentration and the optical properties of the atmosphere. *European Communities' Climatology Programme Symposium on Current Issues in Climate Research* (1984). D. Reidel, Dordrecht, 258-268.

MOLINA, J. J. and F. S. ROWLAND, 1974: Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom catalysed destruction of ozone. *Nature*, 249, 810-812.

WIGLEY, T. M. L., 1987: Relative contributions of different trace gases to the greenhouse effect. *Climate Monitor*, 16, 14-28.

Visita a Cabo Grim de los Presidentes de la CCA y la CCI

Por W. J. MAUNDER*

El lunes 15 de abril de 1991, mi esposa y yo, junto con Doug Gauntlett, presidente de la Comisión de Ciencias atmosféricas de la OMM, tuvimos el placer de visitar la Estación de referencia para la vigilancia de la contaminación del aire en Cabo Grim. Para los que no lo conocen, el Cabo Grim está situado en el punto más al noroeste de la isla en el Estado de Tasmania, Australia, y está a cargo del Bureau of Meteorology, en estrecha cooperación con la División de Investigación atmosférica, que forma parte de la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization de Australia. La estación fue en principio establecida a finales del decenio de los 70, y durante los últimos diez años ha estado realizando un amplio programa de vigilancia. Como estación clave de la BAPMoN dentro de la VAG, Cabo Grim está proporcionando una contribución muy valiosa a la climatología y a nuestra comprensión del cambio climático.

Tuvimos la fortuna de que el día de nuestra visita fuera un día perfecto de "referencia": hubo vientos muy fuertes del oeste-suroeste, lo que significaba que el aire que pasaba por la estación y que era controlado hubiera estado en contacto con la tierra a muchos cientos de kilómetros de distancia, probablemente tan al oeste como América del Sur. También fuimos afortunados, desde un punto de vista panorámico de que el sol brillara la mayor parte del tiempo que

estuvimos allí, proporcionándonos espectaculares vistas con sol del océano y de las olas que rompían en las playas situadas al pie de la estación. Uno no podía evitar el pensar que de no haber sido destinada desde el principio esta ubicación para estación de referencia, hubiera tenido una situación ideal para un centro turístico, en especial para aquellos que están interesados en la vida, en la naturaleza y en los deportes marinos. Puede enorgullecerse de tener una de las mejores panorámicas del océano del mundo.

La estación, en sí, está formada por un gran edificio de madera diseñado para resistir los fortísimos vientos del oeste y los embates, casi constantes, de los rociones del océano. En su interior hay espaciosos laboratorios y zonas de control y adecuadas estancias para los científicos invitados que deban pasar la noche, con espectaculares visitas al mar. La estación está situada a unos tres cuartos de hora en coche de Smithton —la población más próxima— recorriendo una agradable y estrecha carretera que atraviesa los terrenos de una granja privada. Lo cual significa que sólo se permite utilizar este camino a las personas que han sido específicamente invitadas a visitar la estación.

Quedé muy impresionado por la calidad de las edificaciones y la dedicación y entusiasmo del personal: hay que felicitar al Bureau of Meteorology por estas excelentes instalaciones. En estos días en que casi cada uno de los que nos rodean en el mundo pretende subirse al carro, con su proverbial perro, para involucrarse y preocuparse por el cambio climático y los gases de invernadero,

* Presidente de la Comisión de climatología de la OMM

supone una bocanada de aire fresco respecto a los aspectos políticos, sociales y económicos del problema el recordar que la base fundamental de todas nuestras preocupaciones está en saber: "¿Qué ha pasado, qué está pasando y qué le pasará al clima?" Las estaciones de referencia, tales como la de Cabo Grim, son islas estratégicas en nuestro esfuerzo para entender mejor el clima y debe elogiarse al Gobierno de Australia no sólo por el haber establecido la estación a finales del decenio de los años 70, sino también por continuar suministrando recursos para sus actividades de vigilancia. Espero que dicha ayuda continuará en el futuro.

En nombre de quienes visitaron conmigo Cabo Grim, me gustaría expresar nuestra cálida gratitud al personal de la estación y al Bureau of Meteorology por haber logrado tanto éxito en nuestra visita.



Visitantes en la estación de referencia de la contaminación del aire en Cabo Grim. De izquierda a derecha: J. D. Jasper (Bureau of Meteorology, Oficina Principal), D. J. Gauntlett (presidente de la CCA), W. J. Maunder (presidente de la CCI), Sra. M. Maunder, S. R. Wilson (Bureau of Meteorology, Cabo Grim).

Foto: C. Shrank, Bureau of Meteorology

UN ORDENADOR PERSONAL PARA ANALIZAR LOS DATOS DE LOS RADARES METEOROLÓGICOS

Por David B. JOHNSON* y Mohamed NBOU**

Introducción

Desde finales de los años 1940, los radares meteorológicos han desempeñado un papel de importancia creciente en la predicción, en los avisos de temporal, en la vigilancia de la precipitación y en la investigación (véanse Battan, 1973;

Sauvageot, 1982; Cliff, 1985, y Atlas, 1990). Mientras que algunos radares ofrecen solamente la posibilidad de mostrar datos en tiempo real, los sistemas modernos suelen incluir la posibilidad de grabar digitalmente los datos para reproducirlos y analizarlos más tarde. Esos conjuntos de datos archivados pueden ser recursos valiosos para la enseñanza, la formación profesional y la investigación meteorológicas. En este artículo analizamos la utilización de un ordenador personal barato como estación de trabajo del radar en la que visualizar los datos grabados.

* Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas, Boulder, Colorado, EE.UU.

** Direction de la Météorologie Nationale, Casablanca, Marruecos.