

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.

Entre las características distintivas de esta visualización en la pantalla de un ordenador personal deben contarse:

- El uso del FORTRAN normal, con prestaciones gráficas relativamente rudimentarias solamente, para generar las imágenes en pantalla de la información del radar;
- El uso de paquetes de *software* existentes en el mercado para ampliar las posibilidades del programa de visualización y
- La dependencia de las configuraciones habituales de equipos. En concreto, las versiones actuales del *software* se realizaron para utilizarlas en un ordenador IBM PC/AT (o compatible), con sistema operativo MS-DOS, dotado de coprocesador matemático y de pantalla color EGA o VGA.

Para que una pantalla de radar en color resulte útil debe tener una resolución bastante alta y una paleta con un número suficiente de intervalos discretos de colores como para que se puedan apreciar las características meteorológicas de interés. Naturalmente, esta opinión es en gran medida subjetiva y se basa en la tecnología disponible y en la experiencia del usuario. En nuestro caso, pensamos que una pantalla ECA normal (640 por 350 líneas y 16 colores diferentes) era suficiente para estudiar los datos de los radares meteorológicos. Si se dispone de ellas, las nuevas pantallas VGA son mejores porque ofrecen más resolución (640 por 480), resoluciones uniformes en abscisas y ordenadas y mucha más precisión para asignar los colores elegidos. Lo ideal sería utilizar una máquina "386" con disco duro rápido, para garantizar un tratamiento rápido de los datos y un rendimiento máximo. Sin embargo, para estudiar los datos de los radares meteorológicos puede ser suficiente un ordenador "286" de 6 a 8 MHz con diskette floppy, si tiene instalado un coprocesador matemático.

Es importante recalcar que el sistema de visualización que hemos creado no está diseñado para mostrar en pantalla los datos en tiempo real, sino para poder ver los datos un lapso después de grabarlos. Por ello, la velocidad de aparición en la pantalla no es fundamental para el funcionamiento de los programas. En muchos casos quizás sea

posible utilizar un sistema similar de visualización en ordenadores personales para los datos en tiempo real. Naturalmente, en este caso sí es fundamental la velocidad de aparición en pantalla y el sistema del ordenador personal debe estar plenamente integrado en el esquema general de proceso de datos del radar.

Programa de visualización

Cuando se procesa el programa de visualización, se ofrece primeramente al usuario la posibilidad de modificar la configuración por defecto de la ventana de la pantalla (zoom de acercamiento y alejamiento panorámico). Después de establecer la configuración general, se introduce el nombre del archivo de datos que se desea ver; el programa lee el archivo solicitado y muestra en pantalla los datos. En este punto, el usuario puede modificar la pantalla que ve, guardar una copia de la imagen que aparece en pantalla para utilizarla en un bucle de animación, leer un nuevo archivo de datos o terminar la ejecución del programa.

El programa de visualización está escrito todo en FORTRAN. Los gráficos que aparecen en pantalla se generan utilizando una biblioteca de gráficos, de las existentes en el mercado, a la que se pueda llamar con lenguaje FORTRAN. Para mantener la transportabilidad del programa, hemos intentado reducir al mínimo estos comandos de gráficos no normalizados. Actualmente, sólo se emplean cuatro comandos básicos de gráficos:

- 1 — Seleccionar los 16 colores que compondrán la paleta de colores;
- 2 — Escribir el texto en la pantalla;
- 3 — Dibujar líneas y
- 4 — Rellenar polígonos.

La figura 1 ilustra la visualización de un típico indicador de posición en plano (PPI). Aunque los valores del color se han perdido en esta reducción a blanco y negro de la imagen de la pantalla, todavía se pueden ver las características básicas de la imagen*. Si se desea, en la ventana principal del monitor se pueden incluir superposiciones en pantalla tales

* La figura en blanco y negro para este artículo se generó utilizando un *software* de "captura en pantalla" y refleja directamente la resolución de la pantalla VGA.

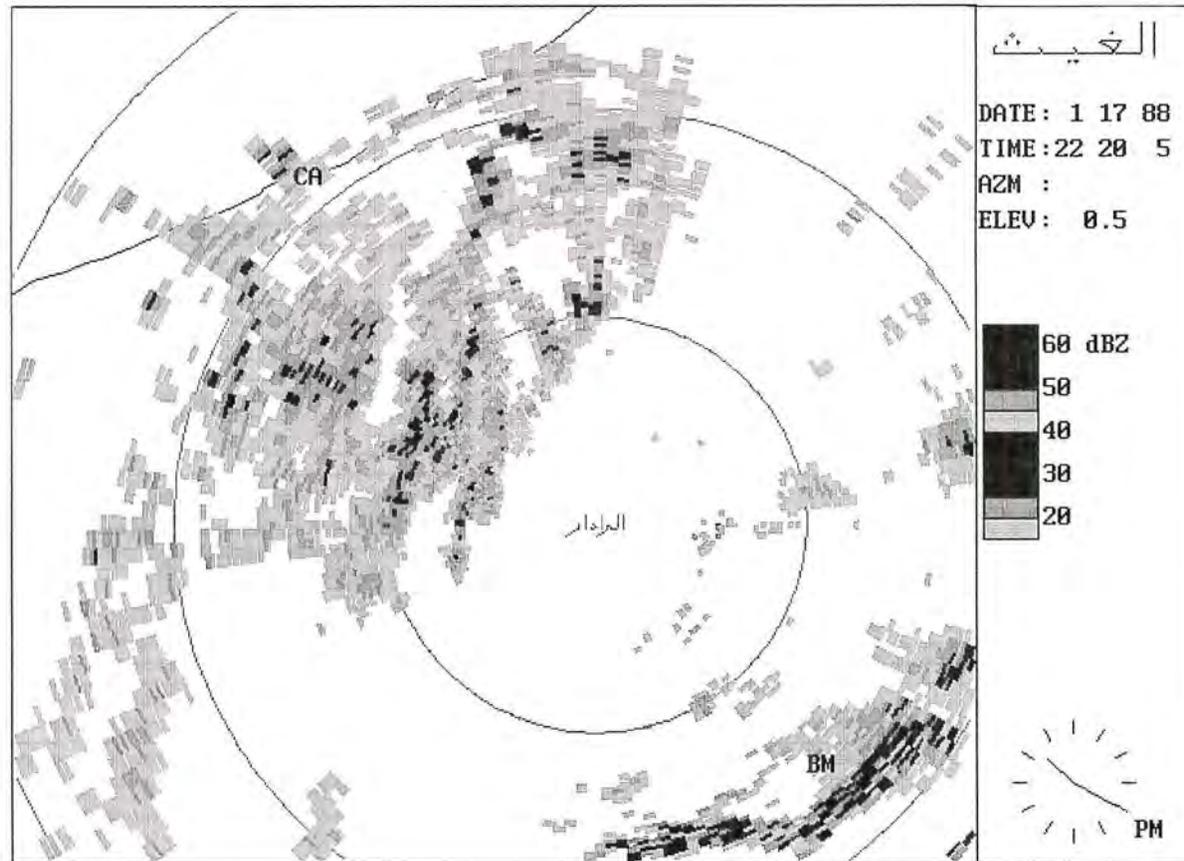


Figura 1 – Reducción a blanco y negro de una imagen en color de un PPI que muestra las zonas de precipitación débil a moderada asociadas a un sistema frontal que entra en Marruecos el 17 de enero de 1988. Los círculos de alcance están trazados a intervalos de 50 km. En la parte superior izquierda de la figura se indican la costa atlántica de Marruecos y la ciudad de Casablanca. En la esquina inferior derecha se pueden ver la ciudad de Beni Mallal y el amplio eco del suelo asociado con los montes Atlas.

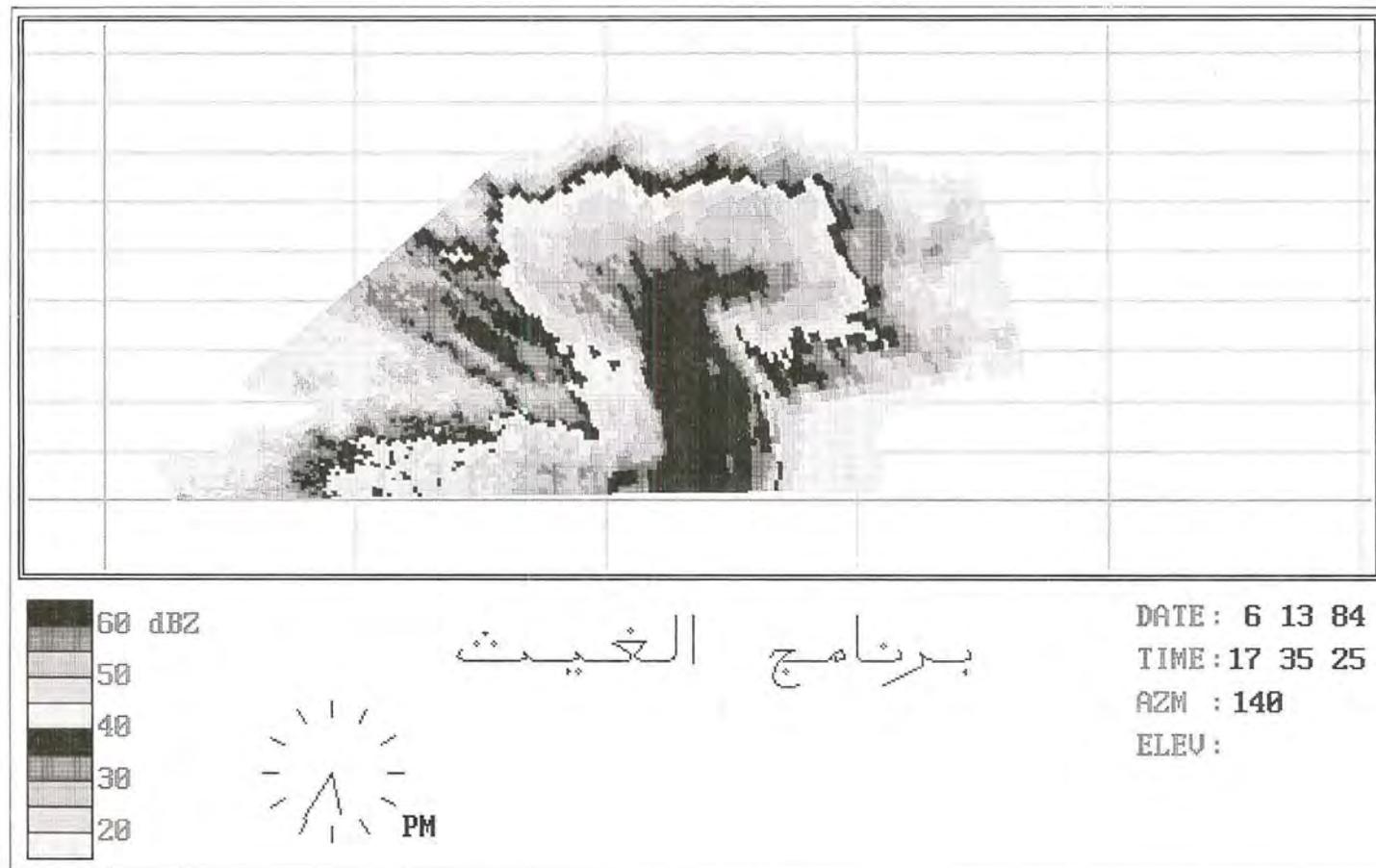


Figura 2 – Reducción a blanco y negro de una imagen en color de un RHI que muestra una sección vertical a través de una supercélula tormentosa portadora de granizo, observada cerca de Denver, Colorado, el 13 de junio de 1984. Las señales de alcance horizontales y verticales están espaciadas 10 km y 2 km, respectivamente.

como los círculos de alcance del radar, la línea de costa y las ciudades o accidentes geográficos principales. La anotación a lo largo del margen derecho de la figura incluye el nombre del proyecto (en árabe), la fecha, la hora y el ángulo de elevación, una clave del color y la imagen de un reloj analógico. El reloj es especialmente útil durante los bucles de animación y las películas. Si se procesa en un ordenador 386 de 25 MHz, la imagen de la figura 1 se puede generar en menos de 15 segundos, incluyendo el lapso necesario para leer y desempaquetar el archivo de datos condensados en ASCII (véase el apartado siguiente). En un ordenador 286, más lento, se puede tardar un minuto en leer los datos y generar la imagen en la pantalla.

La figura 2 es la presentación de un indicador de variación de altura (RHI) de un estrato vertical de alta resolución a través de una tormenta fuerte de granizo cerca de Denver, Colorado. En esta imagen las distancias vertical y horizontal están dibujadas a la misma escala, pero esto lo puede modificar el usuario. En este ejemplo, las marcas de alcance en altitud están trazadas cada 2 km, y cada 10 km en alcance horizontal.

Después de que se ha generado una imagen, se puede volver a dibujar para ampliar las características interesantes o para desplazar el centro de la imagen (zoom de acercamiento o alejamiento panorámico). Puesto que los datos del radar de un barrido completo se mantienen en la memoria, ya no es necesario volver a leer los datos originales para volver a dibujar. Las características principales del zoom y de la vista panorámica se generan totalmente dentro del *software* de visualización. Esto significa que la pantalla mantiene siempre la misma resolución, a diferencia de los sistemas basados en el *hardware*, que amplía típicamente las imágenes al aumentar el tamaño de cada elemento de imagen (pixel). Los parámetros modificados de la pantalla pueden permanecer por defecto para los archivos de datos posteriores.

Una de las características más atractivas de un sistema de visualización en la pantalla de un ordenador personal es la de que se puede disponer rápidamente de las aplicaciones existentes en el mercado que permiten aumentar las posibilidades de la pantalla. Por ejemplo, es posible almacenar una serie de imágenes de la pantalla que pueden mostrarse posteriormente como una película o un carrusel

de imágenes animadas. Ese *software* de "presentación" consta, normalmente, de una familia de programas complementarios de utilidades: una utilidad de captura de pantalla, una utilidad de repetición y animación y algún tipo de utilidad con el guión para controlar las repeticiones. Estos paquetes se elaboraron para ayudar a generar las presentaciones mediante ordenadores personales o las demostraciones de productos, pero funcionan bastante bien para examinar secuencias cronológicas de datos de radar. Utilizando dicho *software*, es posible saltar hacia atrás y adelante entre dos imágenes cualesquiera, pasar un bucle de película que muestre la evolución de un sistema tormentoso en periodos de varias horas, o casi cualquier cosa comprendida entre ambas.

Una vez que los datos del radar están en la memoria, es relativamente fácil generar imágenes adicionales para fines especiales o productos de análisis que se puedan utilizar para vigilar la calidad de los datos, la calibración del sistema o las estadísticas de los ecos. La figura 3 muestra una de esas imágenes que se creó para vigilar la calibración de la reflectividad utilizada para los conjuntos de datos de Marruecos. En esta imagen, todos los datos de un barrido dado se transcriben gráficamente en función del alcance (eje x) y del factor de reflectividad equivalente del radar en dBZ (eje y). En realidad, ésta es una imagen modificada "A-scope" (véanse Battan, 1970 y Cliff, 1985) que utiliza los valores de dBZ registrados en forma digital en lugar de la energía devuelta instantáneamente. El límite inferior curvado del conjunto de puntos de los datos refleja simplemente la dependencia del alcance en R^2 del umbral de ruido cuando se expresa en unidades de dBZ.

La compresión y el almacenamiento de los datos

El propio programa de visualización es sólo una parte del sistema general de gestión y análisis de los datos (véase Skolnik, 1980). El punto de partida clave es la recopilación de un conjunto de datos grabados en forma digital, lo que se puede hacer en alguno de los formatos posibles y tipos de medios. Esa capacidad de grabación se debe integrar en el diseño de conjunto del sistema del radar y queda fuera del ámbito de este artículo. En Marruecos, los datos del radar se han recopilado como parte del *Programa Al Ghait*, un experimento

meteorológico cooperativo sobre los montes Atlas (véase Bensari y otros, 1989; Baddour y otros, 1989; y Baddour y Rasmussen, 1989). El radar para este proyecto se instaló cerca de la ciudad de Khouribga, en el centro de Marruecos. Aunque en principio estaba destinado a apoyar en tiempo real las operaciones del proyecto, el sistema del radar puede registrar datos para barridos seleccionados (PPI o RHI), sobre discos blandos de ocho pulgadas, controlados por un microordenador Z-80 que procese el sistema operativo CP/M. En este formato, los datos sólo se pueden reproducir utilizando uno de los dos sistemas Z-80 que se suministran originalmente con el radar.

Según se grabaron en origen, los discos blandos de ocho pulgadas de baja densidad son un medio de almacenamiento relativamente poco eficaz. Además, los científicos de Marruecos sólo disponen de estos discos en cantidades limitadas. Antes de archivar los datos, transferimos el archivo de datos, totalmente en binario, a un disco normal DOS de alta densidad. En este momento, procesamos un programa FORTRAN sencillo que aplica todas las calibraciones necesarias al conjunto de datos en bruto, genera un archivo inicial de salida ASCII con un resumen breve de los datos grabados (incluyendo la hora y fecha de la recopilación de datos, el nombre del archivo y otra información "casera") y a

continuación escribe un segundo archivo de salida que contiene los datos calibrados del radar. El archivo casero se puede examinar mediante cualquier editor normalizado de textos y se utiliza como inventario principal de los datos de radar del proyecto.

Los archivos principales de los datos se generan en formato ASCII abreviado, que mantiene toda la resolución de los datos originales. Después de un encabezamiento —que incluye la hora y la fecha de recopilación de los datos— sigue el conjunto real de datos en coordenadas polares rayo por rayo. Para cada rayo se registran la elevación y el azimut, así como las reflectividades equivalentes del radar para cada celda de volumen a lo largo del rayo. Se graban todos los datos en un formato I4 sencillo, con las reflectividades (dBZ) grabadas como valores enteros positivos. Las celdas de volumen que no tengan retorno se cifran como -1 y las celdas de volumen consecutivas que no posean datos se combinan en un solo número. Por consiguiente, un -5 indicaría cinco celdas de volumen consecutivas sin retorno. Este método limita ese conjunto de datos a reflectividades mayores que 0 dBZ. Para el radar de Marruecos, ésta no es una limitación importante, puesto que el nivel de ruidos del radar sobrepasa normalmente los 0 dBZ para prácticamente todos los alcances de interés.

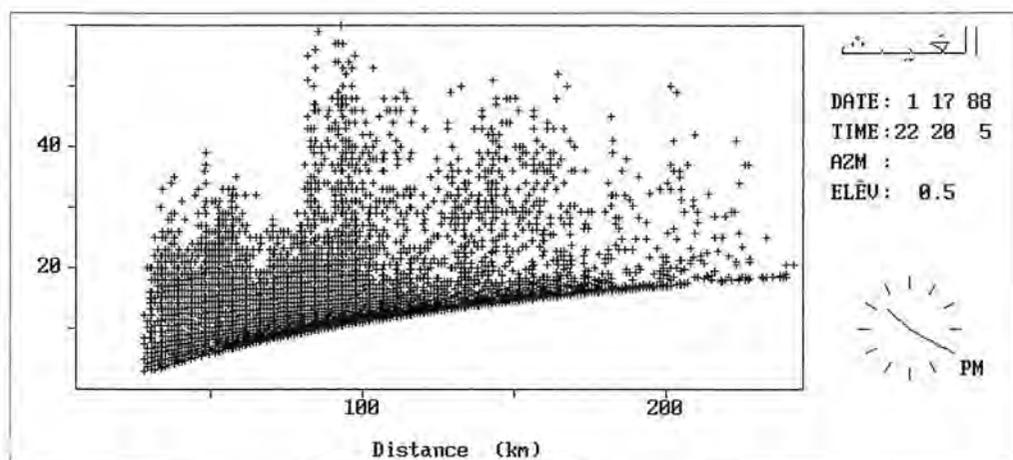


Figura 3 — Una imagen de un gráfico de los factores de la reflectividad equivalente del radar (en dBZ) como función del alcance para el mismo barrido PPI que se muestra en la figura 1. Los valores grandes de la reflectividad más allá de 75 km se asocian generalmente con los ecos de los montes Atlas.

Sin embargo, si este método se extendiera a un radar de investigación más sensible, puede que fuese necesario añadir un valor constante de "compensación" a cada reflectividad para que los valores grabados se mantuvieran mayores

que cero. El ejemplo que se muestra en la tabla representa el encabezamiento y los dos primeros rayos de los datos del PPI presentado en la figura 1.

| | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-------|-----|-----|
| 88 | 1 | 17 | 22 | 20 | 5 | 225 | 9-899 | | |
| 51638 | | -58 | 19 | 37 | 55 | 41 | 43 | 34 | -1 |
| 3 | -17 | 13 | -18 | 14 | -7 | 3 | 44 | 49 | 35 |
| 31 | 33 | 15 | 29 | 16 | -8 | 15 | 34 | 39 | -9 |
| 37 | 16 | -2 | 43 | 36 | -4 | 36 | 35 | 4 | -88 |
| -900 | | | | | | | | | |
| 51658 | | -57 | 8 | 27 | 23 | 45 | 31 | 40 | 56 |
| 33 | 2 | -1 | 15 | 6 | -7 | 38 | 22 | -10 | 12 |
| -22 | 8 | 32 | 28 | 22 | 32 | 15 | 26 | 25 | -5 |
| 4 | 15 | 42 | 26 | 28 | 14 | -6 | 12 | -6 | 12 |
| 31 | 29 | 4 | 26 | -92 | -900 | | | | |

La primera línea representa la información del encabezamiento, que indica que el conjunto de los datos corresponde al 17 de enero de 1988 a las 22:20:05 hora local. La primera celda de volumen de los datos registrados comienza a 22,5 km. y el espaciamiento entre celdas de volumen es de 0,9 km. En este caso, el -899 es simplemente para señalar el final de la información del encabezamiento. El encabezamiento se podría ampliar para que incluyera información adicional tal como el tipo de barrido (RHI o PPI), el emplazamiento del radar y el nombre del proyecto. Para el *Programa Al Ghait*, el tipo de barrido se indicó como parte del nombre del archivo y no se repite en el encabezamiento. El primer rayo de datos reales se recogió en azimut de 163,8° con un ángulo de elevación de 0,5°. Las 58 primeras celdas de volumen están sin ecos y les siguen otras celdillas de volumen con retornos de 19 dBZ, 37 dBZ, 55 dBZ (estos valores grandes de la reflectividad son producidos por los retornos que producen los montes Atlas) y así sucesivamente. La -900 indica el final de los datos pertenecientes a cada rayo. Este esquema de compresión da lugar habitualmente a archivos de 20 000 a 50 000 bytes para un solo PPI (un radar con un haz de 2° y 240 celdas de volumen) o de menos de 10 000 bytes para un RHI, aunque el tamaño de los archivos comprimidos de datos

puede variar mucho. Esto significa que un solo diskette de 1,2 Mbyte, con frecuencia podrá almacenar 50 o más archivos distintos. Estos diskettes DOS de alta densidad son el medio principal de almacenamiento para los datos del radar en el *Programa Al Ghait*. Naturalmente, los radares de investigación con haces menores y más celdillas de volumen generarían más datos. Sin embargo, aún en este caso, sería posible grabar sobre un solo diskette DOS uno o más barridos completos.

Aunque no sería difícil idear un esquema de compresión de datos más elaborado y más eficaz, el método actual tiene algunas ventajas inequívocas. Concretamente, se pueden examinar y editar directamente los archivos de datos utilizando diversos editores o procesadores de textos. Manteniendo el azimut, la elevación y la reflectividad directamente en sus unidades naturales, se puede comprender inmediatamente el archivo de datos sin traducción ni expansión. Además, conservando el archivo principal de los datos como un fichero en formato ASCII, es fácil traspasar el conjunto de datos a otros usuarios y a otras configuraciones *hardware*. En gran parte, el algoritmo de compresión de datos es un buen ejemplo de enfoque general que hemos seguido a lo largo de todo el ejercicio, optando por métodos robustos y sencillos que preservan los datos originales y no precisan *hardware* a

medida ni software complicado. El objetivo general ha sido disponer de un producto que sea fácil de usar y de mantener.

Resumen

En los últimos años ha habido prácticamente una revolución en la disponibilidad de ordenadores de bajo coste y altas prestaciones. La potencia de proceso de la que hasta hace pocos años sólo disponían los miniordenadores o los grandes equipos informáticos, se puede encontrar actualmente en los ordenadores personales, que han aumentado enormemente su potencia y sus capacidades y que, además, ya se pueden adquirir fácilmente en muchas partes del mundo. La disponibilidad de estas máquinas y la abundancia de aplicaciones programadas para ellas, hacen que sean unas herramientas extremadamente atractivas para la investigación científica. De hecho, los mismos sistemas que se utilizan a veces para el tratamiento de textos y la administración de proyectos se pueden usar también para examinar los datos meteorológicos.

Agradecimientos

El Centro Nacional de Investigación Atmosférica está patrocinado por la Fundación Nacional de Ciencia de los Estados Unidos. Este trabajo fue financiado, en parte, por un acuerdo de cooperación entre la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), la Oficina de Recuperación de los Estados Unidos y el Reino de Marruecos.

Referencias

Atlas, D. (Ed.), 1990: *Radar in Meteorology*, American Meteorological Society, Boston, USA.

Baddour, O., M. Nbou, M. El Mokhtari, R. M. Rasmussen, D. B. Jonhson and D. A. Matthews, 1989: Seedability of Moroccan clouds. *Proceedings, Fifth WMO Scientific Conference on Weather Modification and Applied Cloud Physics*, World Meteorological Organization, Geneva, 77-80.

Baddour, and R. M. Rasmussen, 1989: Microphysical observations in winter storms over the Atlas mountains in Morocco. *Atmospheric Research*, 24, 103-122.

Battan, L. J., 1973: *Radar observation of the atmosphere*. University of Chicago Press, Chicago, USA.

Bensari, A. S. Benarafa, B. Loukah, M. Benassi, A. M'Rabet, D. Matthews, J. Medina, C. Hartzel and T. Deshler, 1989: *Programe Al Ghait—Design and evaluation of a weather modification program in Morocco*. *Proceedings, Fifth WMO Scientific Conference on Weather Modification and Applied Cloud Physics*, World Meteorological Organization, Geneva, 533-536.

Clift, G. A., 1982: *Use of radar in meteorology*. Technical Note N.º 181, World Meteorological Organization, Geneva.

Sauvageot, H., 1982: *Observation météorologique par radar: télémessure active de l'atmosphère*. Eyrolles, Paris.

Skolnik, M. I., 1980: *Introduction to radar systems*. McGraw-Hill, New York.
