

Los trabajos realizados en los años últimos en el campo de la hidrología nos es más conocido. Actualmente disponemos de 700 estaciones hidrométricas en los ríos para la medida de los caudales diarios de agua; 300 de ellas efectúan medidas diarias de aluviones. Hay 50 estaciones hidrométricas con un programa complejo de medidas, en lagos naturales y en embalses, mientras que 50 estaciones de tipos diversos miden la evaporación y otras 1.600 estaciones hidrométricas miden las aguas subterráneas.

Los datos así recogidos han permitido elaborar y publicar numerosos trabajos sobre la hidrología. La red constituye una base sólida para el cálculo y la predicción, así como para la utilización de los recursos hídricos nacionales.

En el momento de celebrar un aniversario tan importante, conviene mantener vivo el recuerdo de la obra y de la personalidad de los precursores, de aquéllos cuyo entusiasmo, conocimientos y previsión del futuro han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de la meteorología y de la hidrología rumanas. A todos ellos dirigimos nuestro agradecimiento.

Conclusión.

Para concluir, querría expresar nuestra satisfacción por haber podido recibir a la Sexta Reunión de la Asociación Regional VI (Europa), que se ha celebrado en Bucarest en el mismo momento en que nuestro Instituto celebraba su nonagésimo aniversario. Esto ha permitido a los participantes asociarse personalmente a este aniversario y compartir, al menos parcialmente, la emoción desprendida del mismo.

SISTEMA PARA FACILITAR EL EMPLEO DE LOS ORDENADORES EN PROBLEMAS CLIMATOLÓGICOS Y ESTADÍSTICOS

*Por J. M. CRADDOCK**

Resumen

En el presente artículo se examinan los obstáculos que dificultan el intercambio de programas para ordenadores entre los Miembros de la OMM con intereses similares y, asimismo, se expone de forma somera un sistema de programas que supone un gran paso en el camino hacia la eliminación de estos obstáculos, especialmente en lo que se refiere a los campos de las aplicaciones estadísticas y climatológicas.

* El Sr. Craddock trabaja en la Oficina Meteorológica Británica de Bracknell. Ha servido como consultor de la OMM en la planificación de la Vigilancia Meteorológica Mundial. En la pág. 79 aparece un resumen de su informe sobre la planificación de la VMM.

Introducción

Mientras que en los primeros ordenadores electrónicos se emplearon programas grabados en lenguajes de máquina altamente específicos, los cuales perdían todo su valor una vez que el ordenador era sustituido por uno nuevo, casi todos los ordenadores modernos admiten programas grabados en lenguaje FORTRAN lo cual supone que los programas de mayor utilidad puedan ser transferidos de un ordenador a otro, no sólo dentro de un mismo Servicio Meteorológico, sino que también se abre la posibilidad de poder proporcionar ayuda técnica a las naciones en desarrollo asociadas a la OMM en forma de programas cuyo grado de fiabilidad ya ha sido constatado en uno de los centros mejor equipados del mundo.

Dado el gran esfuerzo mental que se necesita para crear y describir un programa de regularidad funcional y la escasez de expertos técnicos en la mayoría de las naciones en desarrollo, la transferencia de programas ya comprobados constituiría una forma muy valiosa de ayuda técnica, pero parece ser que hasta el momento la labor desarrollada en este sentido ha sido escasa. Algunas de las dificultades existentes para llevar a cabo esta labor salieron a la luz tras una reunión de un grupo de trabajo de la OMM que tuvo lugar en Bruselas, en mayo de 1973, bajo la presidencia del Dr. R. Sneyers y en la que, entre otras, se recomendó que los Miembros de la OMM que dispusiesen de programas susceptibles de ser empleados con facilidad por los demás deberían de informar sobre los mismos y suministrar copias de la documentación y codificación necesaria para el beneficio común. La respuesta a esta llamada sirvió para demostrar que, de ningún modo, el mero hecho de que los programas estén grabados en FORTRAN resulta suficiente de por sí para hacer que sean fácilmente transferibles desde una instalación a otra. Para que ello sea factible hay que darse cuenta que su flexibilidad, documentación y su adaptabilidad a las normas existentes han de alcanzar una amplitud superior a la requerida por los programas pensados únicamente para usos nacionales y a corto plazo, siendo muy poco probable que cualquier programa se amolde a las normalizaciones necesarias a no ser que haya sido ideado para ello desde un principio. En otras palabras, planificar un programa para que tenga un período de actividad largo y para que pueda ser utilizado internacionalmente, significa un cierto trabajo adicional y pensar más allá de lo que sería necesario en el caso del mismo programa proyectado para la misma función pero sólo a nivel nacional y a corto plazo; muy pocos meteorólogos están en situación de realizar este trabajo para la OMM, la cual va detrás de los requerimientos nacionales inmediatos. La razón principal por la que yo pude llevar a cabo este trabajo para la OMM se debió a que casi coincidía con la necesidad nacional de codificar la serie de programas que se describen a continuación.

Historia

En 1965, la Oficina Meteorológica del Reino Unido recibió un ordenador English Electric KDF9, lo que representó un notable aumento en la potencia de cálculo respecto a su antecesor, aunque obtenida a costa de un lenguaje de máquina oscuro y embarazoso. Este lenguaje era demasiado difícil para poder ser utilizado con soltura por los meteorólogos no especializados; la considerable carga de trabajo requerida por la cli-

matología sinóptica se realizaba por medio de un lenguaje de alto nivel, el sistema METO, el cual fue creado sobre este principio: «Si usted, meteorólogo no especializado, especifica por medio de números las operaciones que desea que realice el ordenador entonces nosotros, los creadores de procedimientos, le proporcionaremos un programa grabado en el código de la máquina KDF9 el cual interpretará sus instrucciones y llevará a cabo sus intenciones tal y como hayan sido especificadas». La cuestión de cómo deberían formularse y describirse las instrucciones para que resultasen sencillas a los meteorólogos no especializados tuvo que resolverse mediante tanteo, dado que con frecuencia la formulación preferida por los usuarios era diferente y más práctica que la que se le hubiese ocurrido a un matemático; hacia el año 1968, el sistema ya estaba prácticamente terminado y en pleno funcionamiento quedando descrito en el *Manual METO Mark III*.

En 1970, cuando se tuvo noticia de que el ordenador KDF9 iba a ser sustituido por un IBM 360/195 de mucha mayor potencia y con un compilador para el lenguaje FORTRAN, se reconsideraron las instrucciones METO existentes con las que el personal ya estaba plenamente familiarizado y todas las que se creyó probable que iban a continuar siendo de utilidad (unas 100 en total) se incluyeron en un nuevo sistema, el METOCODE, para lo cual se transcribió en FORTRAN un programa de interpretación. La programación hubo de realizarse rápidamente ya que tenía que estar totalmente a punto antes de que el ordenador KDF9 fuese retirado, y aún después de que la carga de trabajo existente se transfirió del KDF9 al IBM 360 quedaba la labor de conversión del banco de más de 20 millones de datos, descrito por Craddock (1970), desde las cintas magnéticas del KDF9 a las cintas magnéticas o paquetes de cintas cambiables IBM. Cuando se hubo completado esta tarea, bastante bien dentro de la limitación de tiempo, surgió la cuestión de codificar el programa del METOCODE de una forma tal que sirviese a la Oficina Meteorológica del Reino Unido, no sólo durante el tiempo de vida del ordenador IBM 360, sino también durante la de todos sus sucesores.

El sistema consta de las unidades de codificación FORTRAN que llevan a cabo las instrucciones individuales dadas en el sistema METOCODE, además de un compilador único que convierte un programa fuente grabado en METOCODE en la forma conveniente para su tratamiento interno por el ordenador y de un intérprete que trata el programa compilado con el fin de decidir en cada punto la instrucción que ha de ser obedecida, enviando entonces una señal a la unidad de codificación la cual lleva a cabo dicha orden. De esta manera, la codificación para la instrucción individual que puede ser solicitada, bien por medio de un programa FORTRAN grabado para la ocasión o bien por medio del intérprete METOCODE, ha de cumplir los mismos requisitos de eficacia, simplicidad y buena documentación que resultan necesarios para la pretendida codificación de utilización internacional.

El primitivo programa FORTRAN para la ejecución de las instrucciones METOCODE sólo resultó apropiado para un gran ordenador y también, en varios aspectos, mostró una serie de defectos inevitables en un proyecto terminado de forma precipitada; por ello se planificó una estructuración completamente nueva, lo que supuso el tener que rehacer casi toda la codificación existente a fin de combinar la eficacia con la

flexibilidad necesaria para poder adaptarse a los ordenadores de cualquier tipo de fabricación y para su empleo bajo cualquier clase de condiciones de trabajo; para esto se aprovecharon los últimos avances de las técnicas FORTRAN tal como, por ejemplo, describe Larmouth (1973). El resultado es un programa FORTRAN muy amplio, pero dispuesto de una manera muy simple y muy fácil de seguir, pudiéndose ampliar, modificar o reordenar con entera libertad y sin necesidad alguna de tener que recurrir al diseñador original. La última estructuración, que es la PILOT4, tiene la característica de que las instrucciones que se utilizan con mayor frecuencia son las que se encuentran con mayor rapidez, además de que también resulta eficaz cuando se emplea en el ordenador IBM-360; pero las características que son específicas para los ordenadores IBM, y que necesitan ser alteradas si se quiere que la codificación sirva para ordenadores de otras marcas, son pocas en número y están bien señaladas. Debido a la gran labor de cimentación que se ha llevado a cabo antes de que esta última versión fuese registrada y a los excelentes medios de diagnóstico con que cuenta el ordenador IBM 360, el desarrollo y comprobación de esta versión final ha llevado mucho menos tiempo del que generalmente se requiere para empresas de esta índole.

No se pretende afirmar que el último programa sea perfecto, pero un programador que intente recorrer el mismo terreno sacará mucho mayor fruto de sus esfuerzos si acepta este sistema y trata de mejorarlo, en vez de tratar de repetir el trabajo desde el comienzo. El principio de que las diferentes partes de un programa no interfieran entre sí, salvo que sea estrictamente necesario, se cumple aquí completamente y, además, se simplifica considerablemente el perfeccionamiento de las codificaciones existentes y la obtención de nuevos medios.

Documentación

Allí hasta donde llegue el usuario común de un lenguaje de ordenador debe de tener a su alcance un manual que describa con tanto detalle como le sea preciso, y no más, la forma de trabajar con cada instrucción. No obstante, en un sistema versátil, muy pocas instrucciones están especificadas de una manera tal que sólo puedan ser llevadas a cabo de una forma; la mayoría requieren que se les suministren los valores de ciertos parámetros, que en el sistema METOCODE se pueden numerar desde 1 hasta 11, lo que, por ejemplo, indica donde han de hallarse los datos a tratar, donde han de almacenarse los resultados de la operación cualquier información sobre el modo en que ha de realizarse la operación. En un sistema que contenga unas 100 instrucciones, aún después de que el usuario haya leído el manual, no puede esperarse que recuerde más que las funciones generales de la mayoría de las instrucciones. Por otra parte, es una característica de los lenguajes de alto nivel el que unas pocas instrucciones se utilicen con gran frecuencia mientras que la mayoría lo sean más bien poco y, el usuario no especializado, que simplemente está interesado en que su trabajo sea realizado por el ordenador, sin preocuparse de cómo éste lo realiza, es lógico que no se aprenda de memoria nada más que aquellas instrucciones que se emplean con mayor frecuencia. Por ello necesita disponer de un compendio en el que aparezcan los nombres y fines de todas las instrucciones y

que le recuerde las disposiciones de los parámetros necesarios en cualquiera de aquellas instrucciones que no se haya aprendido de memoria.

Sin embargo, el conocimiento de un lenguaje de ordenador será una mera frustración a menos que los programas fuente grabados en ese lenguaje puedan ser aceptados y realizados por el ordenador; para que esto sea posible tiene que haber alguien, por ejemplo, el jefe encargado del ordenador, que pueda profundizar más, ver cómo lleva a cabo sus funciones el programa FORTRAN que pone a punto el leguaje y hacer todas las modificaciones necesarias para amoldar a la instalación el programa que se ha de ejecutar. Por ello, también resulta necesario disponer de una documentación a nivel de analista de sistema METOCODE esto viene en forma de sentencias COMMENT, incluidas antes y entre las sentencias FORTRAN del programa en ejecución, las cuales describen el funcionamiento de cada sección y subsección con el suficiente detalle para permitir que puedan ser entendidas por cualquier programador de FORTRAN razonablemente competente. Las reglas del FORTRAN permiten el empleo de etiquetas para numerar las sentencias desde 1 hasta 9999 y, si dentro de cualquier subrutina FORTRAN aparece una etiqueta duplicada el compilador FORTRAN detecta un error y aborta la compilación. Así pues, el hecho de que un programa FORTRAN haya compilado correctamente, es de por sí una prueba de que no ha tenido lugar duplicación de etiquetas en ninguna subrutina, mientras que, por otra parte, el empleo de la misma etiqueta numérica en diferentes subrutinas hace que sea difícil combinarlas en una, si alguna vez esto resultase necesario. Por lo tanto, la regla en la estructuración FORTRAN del METOCODE es que ninguna etiqueta debe de utilizarse dos veces, dondequiera que aparezca en la codificación, de manera que las unidades de codificación de diferentes subrutinas puedan juntarse sin riesgo de que falle la ordenación. Esta regla también significa que cada etiqueta numerada marca un punto único, en lo que ha llegado a ser un programa bastante extenso, que puede ser utilizado en la localización de errores y diagnosis. Así pues, si un usuario del METOCODE graba una instrucción que el ordenador reconoce como errónea (generalmente porque los valores de los parámetros dados son imposibles) la información del diagnóstico le indica donde se encontraba el error, así como en qué consistía. Las sentencias COMMENT que van en cada subsección describen el objeto de la misma, las variables que deben de colocarse a la entrada y la condición del ordenador a la salida, así como cualquier otro tipo de observaciones referentes, por ejemplo, al empleo de las variables de corta duración que puede confundir al lector que está bastante experimentado en el FORTRAN. Entonces, aún en el caso de que haya que reemplazar la codificación de una subsección cuando, por ejemplo, el sistema se transfiere a otro ordenador, la nueva codificación sustituida con el fin de obtener el mismo resultado permitirá que el resto del sistema funcione sin alteración alguna.

Obstáculos materiales en la transferencia de programas para ordenadores

Los principales obstáculos para la transferencia de un programa FORTRAN, grabado para su comprobación en un ordenador, pero para su verdadera utilización en otra instalación, parecen radicar en los siguientes puntos:

- (I) incompatibilidad en el código de caracteres, de manera que tarjetas perforadas que se leen de forma satisfactoria en la primera instalación son interpretadas de distinta forma en la segunda. Esto puede subsanarse mediante la perforación del programa FORTRAN preparado en la primera instalación con la máquina perforadora que se piense utilizar en la segunda, o, en lo que respecta a las tarjetas de datos, mediante la modificación de una sección corta de menos de 20 sentencias FORTRAN en el programa de estructuración PILOT4;
- (II) diferencias entre el hardware de los ordenadores, de manera que, por ejemplo, cuando sucede el caso de que un número demasiado grande para ser representado con precisión en el ordenador, produce diferentes resultados en los dos casos. No hay un catálogo fácilmente disponible de las peculiaridades de todas las marcas conocidas de ordenadores, pero esta enojosa dificultad es probable que sólo afecte a pequeñas partes del sistema;
- (III) diferencias entre las longitudes de palabra de los ordenadores, o en sus representaciones de números en punto flotante, de manera que operaciones que se pueden llevar a cabo con suficiente precisión mediante ciertas sentencias FORTRAN en un ordenador son realizadas en el otro con imprecisión. Esto también debe ser poco frecuente;
- (IV) diferencias entre los sistemas de lectura directa e inversa de las cintas magnéticas y discos magnéticos cambiables. Esto puede resultar grave y provocar una importante cantidad de reprogramación. Sin embargo, la regla METOCODE es que todos los datos contenidos en cinta magnética lo están en forma de bloques de 1000 números cada uno, de manera que la recodificación consiste simplemente en tomar dichos bloques y convertirlos en la forma que resulte más conveniente para el ordenador local;
- (V) diferencias entre las superficies de las memorias de núcleos magnéticos disponibles para su empleo en diferentes ordenadores. Siempre que la superficie disponible exceda un poco de un pequeño mínimo, la flexibilidad proporcionada en las últimas estructuraciones del METOCODE debe hacer posible que se supere esta dificultad sin mucha pérdida de eficacia;
- (VI) dificultades lingüísticas tales como utilizar para las variables nombres que son nemotécnicos en el lugar de origen, pero que resultan engañosos en el lugar de destino. Esta fuente de confusión que surge entre las disciplinas científicas, así como entre los grupos lingüísticos, se evita completamente en el METOCODE ya que los nombres de las instrucciones no se asemejan a palabras inglesas y sólo tienen el significado que se les confiere mediante las definiciones del *Manual*;
- (VII) diferencias entre las cargas de trabajo en diferentes lugares, de forma que la organización de las instrucciones dentro del programa desarrollado que resulta ser la mejor en el lugar de origen puede no ser la más eficaz en el lugar de destino. La estructura del programa FORTRAN permite controlar el uso que se hace de diversas instrucciones y que la codificación sea reorganizada con el fin de amoldarse a las condiciones locales, en cuestión de días.

Alcance del actual sistema METOCODE

Las instrucciones proporcionadas por la última estructuración del sistema METOCODE llevarán a cabo, no sólo las básicas funciones estructurales y administrativas que son esenciales en cualquier lenguaje de ordenadores pensado para un uso serio, sino que también entrarán en el campo de las operaciones estadísticas, meteorológicas y matemáticas que están siendo constantemente utilizadas en la Oficina Meteorológica del Reino Unido para los trabajos de predicción a largo plazo y climatología sinóptica. En el sistema hay espacio para un total de 240 instrucciones que en caso necesario se podría aumentar, pero dado que normalmente sólo están en uso unas 80 instrucciones a la vez, queda mucho espacio para aditamentos. Algunos de estos puede que se hagan en Bracknell, ya que

el progreso en la investigación trae consigo nuevos tipos de análisis que resultan de interés; no hay ninguna razón en absoluto para que la codificación FORTRAN creada en otros centros meteorológicos no pueda ser incluida en el sistema, si ello proporciona mejores medios o sirve para aumentar los ya existentes. La única restricción para el programador qu desee incorporarla al sistema es que ha de ajustarse a las normas sobre el empleo de las ordenaciones y variables que rigen en la codificación existente y que ayudan a lograr que el programa sea fácil de seguir y que su utilización resulte eficaz. Sin embargo, merece la pena señalar que aunque el sistema METOCODE se desarrolló para su empleo en la Oficina Meteorológica del Reino Unido y que, en efecto, se utiliza por término medio unas 30 veces por día de trabajo, ya dispone de las instrucciones necesarias para realizar casi todos los cálculos empleados por Brooks y Carruthers (1953), Panofsky y Brier (1958) o Arlery, Grisolle y Guilmet (1973). Por lo tanto, parece probable que comparativamente se necesitarán pocos añadidos para crear un sistema suficientemente comprensivo que abarque los actuales requerimientos climatológicos a lo largo del mundo entero, y si los programadores de los diversos Servicios Meteorológicos se ponen de acuerdo para cooperar, esto se podría poner a disposición de todas las naciones Miembros de la OMM en el plazo de uno o dos años.

El alcance del intercambio internacional de programas

Los cálculos estadísticos usados en la Oficina Meteorológica del Reino Unido y, por supuesto, en la mayoría de los Servicios Meteorológicos del mundo, son de bastante poco peso cuando se comparan con la capacidad de los modernos ordenadores electrónicos. Dada la disponibilidad de un sistema de programas tales como el METOCODE, el coste de la realización correcta de unos cálculos normalmente es bastante pequeño si se compara con gastos tales como los que resultan de decidir qué cálculos se van a llevar a cabo o comunicando los resultados al lugar correcto, que dependen, no del ordenador, sino del hombre. Hay otros muchos tipos de cálculo meteorológico, por ejemplo, en la predicción numérica del tiempo y en algunas de las operaciones del tratamiento de datos relativos a las telecomunicaciones en los que, comparados con otros gastos, el coste del cálculo es muchísimo mayor; sin embargo, la cuestión de si la planificación de programas para ordenadores que resulten fácilmente transferibles puede aplicarse a tales situaciones aún no ha sido examinada. Con todo, los campos de las operaciones básicamente estadísticas que se utilizan actualmente en climatología, agrometeorología y en hidrología son muy extensos, y no cabe duda de que la idea de programas para ordenadores que puedan intercambiarse entre los Miembros de la OMM, lo que ha quedado de manifiesto con el METOCODE, puede extenderse en estos campos.

Disponibilidad del sistema METOCODE

Todos los programas encuentran dificultad en mantener su FORTRAN en completo acuerdo con los documentos que describen lo que realiza, de manera que la codificación del sistema METOCODE se ha llevado a cabo en dos etapas: primero, creando una estructuración simple PILOT2 y, posteriormente, una puesta a punto PILOT4 más elaborada. En la ac-

tualidad la estructuración PILOT 2 está completa, con el FORTRAN totalmente comprobado y revisado de la manera más cuidadosa para su concordancia con el Compendio y el Manual. Contiene 2075 sentencias FORTRAN y ejecuta 45 instrucciones. Ya ha sido enviado a varios posibles usuarios. La puesta a punto del PILOT4 emplea 3732 sentencias FORTRAN para poder ejecutar 89 instrucciones, pero su comprobación y la grabación manual de las instrucciones extra aún no han sido completadas (en octubre de 1974).

Los programas y documentos METOCODE están a disposición de los Miembros de la OMM conforme a los preparativos para el intercambio de programas para ordenadores fomentado por las pertinentes comisiones técnicas de la OMM. Sin embargo, están sujetos a las restricciones normales de la propiedad literaria. El METOCODE es un sistema de trabajo de la Oficina Meteorológica; está expuesto a su desarrollo y modificaciones, pero no sería práctico informar a los destinatarios del manual o programas METOCODE de los cambios que puedan resultar necesarios. Por lo tanto, los destinatarios de estos documentos habrán de considerarlos como unos documentos de trabajo que les permitirán desarrollar un sistema similar en sus propias instalaciones de ordenadores, pero que no les librarán de la responsabilidad de asegurarse de la precisión y eficacia del empleo que hagan de su sistema.

REFERENCIAS

- ARLERY, R., GRISOLLET, H., GUILMET, B. (1973): *Climatologie, Méthodes et Pratiques*. (Climatología, Métodos y Prácticas). Gauthier-Villars, París, 434 páginas.
- BROOKS, C. E. P., CARRUTHERS, N. (1953): *Handbook of statistical methods in meteorology*. (Manual de métodos estadísticos en meteorología). H. M. Stationery Office, Londres, 412 páginas.
- CRADDOCK, J. M. (1970): *Work in synoptic climatology with a digitized data bank*. (Trabajo sobre climatología sinóptica con un banco de datos numéricos). *Met. Mag.* 99, páginas 221-232.
- LARMOUTH, J. (1973): *Serious FORTRAN. SOFTWARE, practice and experience*. Vol. 3 (FORTRAN formal. SOPORTE LOGICO (SOFTWARE), práctica y experiencia. Vol 3), páginas 87-107 y 197-206.
- PANOFSKY, H. A., BRIER, G. W. (1958): *Some applications of statistics to meteorology*. (Algunas aplicaciones de la estadística a la meteorología). Universidad del Estado de Pennsylvania, University Park, Pennsylvania. 224 páginas.

COMISION DE METEOROLOGIA AGRICOLA

SEXTA REUNION, WASHINGTON, D. C., OCTUBRE DE 1974

La producción de alimentos, el medio ambiente y las especiales necesidades de los países en desarrollo fueron los temas que predominaron en los debates de la sexta reunión de la Comisión de Meteorología Agrícola (CMAg) celebrada en Washington D. C., del 14 al 25 de octubre de 1974, por amable invitación de los Estados Unidos de América. Asistieron a la reunión 85 participantes, representando a 48 países y a 8 organizaciones internacionales. El Presidente de la OMM y el Secretario General, quienes se encontraban en Washington D. C., también realizaron una breve visita a la reunión.