

LA FORMACION DE LOS METEOROLOGOS TROPICALES

Por Robert P. PEARCE*

Introducción

Cuando se me invitó a escribir un artículo para este número del *Boletín* sobre algún aspecto de la formación de los meteorólogos, al principio me sentí algo reticente a aceptar el reto, puesto que ahora habría ya otras personas atendiendo a la tarea a la que he estado más dedicado, que es la enseñanza y la investigación en la materia a nivel universitario. Sin embargo, habiendo estado también asociado durante varios años al Grupo de Trabajo OMM/CCA sobre Meteorología Tropical, se me ocurrió posteriormente que en la formación de los meteorólogos de los países tropicales se dan circunstancias especiales, tanto en la variedad de temas como en su detalle y en la organización nacional e internacional de los programas de formación. Este artículo contiene unas pocas reflexiones personales acerca de estos temas, basadas en una valoración de los retos que han de afrontar los meteorólogos en varios países tropicales y subtropicales, valoración adquirida a lo largo de varios años en contacto con miembros de Servicios Meteorológicos y de universidades. Se pone el énfasis en la formación de los niveles de Clase I y Clase II, definidas actualmente en las directrices de la OMM, aunque tengo reservas acerca de la necesidad de dos clases de meteorólogos graduados.

El nivel y la amplitud de la formación impartida en muchos países tropicales y subtropicales varían enormemente. En un extremo de la escala está la India, con su propio Centro de Formación en Pune, agregado al Servicio Meteorológico (véase el *Boletín de la OMM* 42 (2), págs. 167 y 168), así como varias universidades en cuyos programas de estudio hay cursos de meteorología. En el otro extremo están el gran número de países que carecen de esos programas nacionales y toda su formación la reciben del extranjero. En estos países, los recursos nacionales, tanto en potencial humano como en equipamiento, suelen ser extremadamente exigüos y deben

buscar ayudas para la formación en la OMM o en otros organismos internacionales.

Una forma de tratar internacionalmente esta diversidad de necesidades de formación es intentar fragmentar los sectores en los que se precisa formación en varios componentes (habiendo determinado cuáles son los más pertinentes para los países tropicales) y ver los medios más económicos de proporcionar la experiencia práctica o los cursos necesarios. Como quiera que la demanda social de meteorología crece constantemente y el progreso científico es todavía bastante rápido, el método mencionado debe incluir un procedimiento de revisión continua. Esto refleja, probablemente, la práctica actual de algunos países tropicales; sin embargo, si se tiene que lograr un beneficio máximo a partir de recursos de formación limitados, no hay duda de que se podrían reevaluar algunos aspectos de la organización de la formación en esos países. Igualmente, la naturaleza de la ayuda a la formación que aportan los organismos internacionales debería estar sujeta a un escrutinio continuo para alcanzar resultados óptimos. Una vez más resulta necesaria una estrategia general continuamente actualizada. En la OMM esa estrategia la proporciona el Grupo de Expertos en Enseñanza y Formación Profesional de su Consejo Ejecutivo, y las sugerencias que aquí se hacen tratan de contribuir a desarrollar dicha estrategia.

Una pregunta básica que se debe plantear de partida es: "¿Cuáles son las tareas que los meteorólogos deben poder realizar para satisfacer las necesidades de sus países?". Estas pueden ser muy variadas, yendo desde el suministro de información meteorológica de alta calidad a los usuarios hasta el mantenimiento de sistemas de comunicaciones, la gestión del personal, las relaciones públicas y las negociaciones internacionales. Tradicionalmente, las *Directivas de orientación profesional del personal de meteorología e hidrología operativa*, de la OMM (OMM, Nº 258, 3ª edición, 1984) se han centrado, sobre todo, en formular las necesidades técnicas y científicas para realizar tareas específicas, divididas entre cuatro "clases" distintas de personal, y que se han seguido al pie de la letra en muchos países tropicales. Aunque está

* Profesor Emérito en la Universidad de Reading, Reino Unido



Un aula del Departamento de Meteorología en la Universidad de Nairobi, Kenia, en abril de 1990

Fotografía: G. V. Necco

claramente dirigida a especificar las necesidades de formación de los meteorólogos en latitudes tropicales y subtropicales, la publicación no las diferencia de las del personal de los Servicios de cualquier otra parte del mundo. Aunque estos grupos tienen una base común, aquél tiene necesidades propias muy prioritarias que se deben satisfacer, donde los recursos sean limitados, omitiendo o restringiendo mucho la enseñanza de algunos de los temas más tradicionales. Los párrafos siguientes describen cómo puede lograrse este objetivo mediante un programa de estudios actualizado y una estrecha coordinación entre los Servicios Meteorológicos de los países tropicales y sus universidades. También se analizan las implicaciones para el papel de la OMM en la formación profesional.

Aspectos de la formación de meteorólogos en los países tropicales que requieren una atención especial

Antes de analizar los componentes básicos de ayuda a la formación requerida, es útil considerar cuáles son las áreas de conocimiento que el meteorólogo graduado necesitará al tener responsabilidades individuales como miembro del

Servicio Meteorológico. Aunque estas áreas variarán considerablemente de un país a otro, los mínimos absolutos para todas ellas son:

- (a) la capacidad de interpretar y, si es necesario, modificar o adaptar las predicciones meteorológicas diarias generadas por ordenador, basándose en un conocimiento sólido de sus fundamentos científicos;
- (b) la capacidad de analizar datos meteorológicos y de extraer del análisis conclusiones claras. Estos datos pueden ser elementos de la red tradicional de superficie, como la precipitación y la temperatura, o imágenes de satélites; y
- (c) una base de conocimiento general de la climatología.

Además de las necesidades generales citadas, cada Servicio tendrá también sus propias necesidades mínimas específicas. Así, por ejemplo, los países afectados por ciclones tropicales necesitarán que sus meteorólogos tengan un conocimiento actualizado de la predicción de los ciclones tropicales; los que tengan amplias comunidades agrícolas sujetas a períodos de sequía precisarán de climatólogos espe-

cializados capaces de explotar no sólo las técnicas de predicción a largo plazo basadas en la estadística tradicional sino también otros métodos surgidos de la experimentación con modelos climáticos mundiales. En muchos países, el ahorro de agua es un problema grave y se requieren conocimientos de hidrología por parte de los meteorólogos que asesoren al Servicio Hidrológico. La contaminación ambiental urbana, un peligro creciente en algunos países, aumenta la demanda sobre el Servicio meteorológico y sobre sus especialistas.

Si se acepta que debe existir un límite en el nivel de formación oficial que pueden ofrecer la mayoría de los países, en especial los más pobres, se hace necesario un recorte de los programas educativos básicos tradicionales para satisfacer las necesidades susodichas. El programa de formación óptima variará de un país a otro, pero para un Servicio Meteorológico una forma de asegurar que se alcanzan los mejores niveles es colaborar estrechamente con al menos una universidad.

La situación actual

En algunos países ha existido durante varios años una estrecha cooperación oficial en formación entre el Servicio Meteorológico y una universidad nacional importante: es el caso de Kenya, por ejemplo, con la Universidad de Nairobi. En esos países, el papel de la universidad se ha consensuado y recibe del Servicio un apoyo pleno, por ejemplo en el suministro de datos meteorológicos y en colaboración con su personal. Los cursos que ofrece la universidad son tanto de nivel medio como superior, de forma que para adquirir una formación de Clase I es posible comenzar, o bien nada más completar los estudios escolares, o bien tras un curso medio en física, matemáticas o su equivalente. En los países tropicales y subtropicales en que se da esa situación: (Argentina, Barbados, Brasil, Costa Rica, Filipinas, Venezuela (sólo para titulados medios), así como en Kenia), la OMM ha reconocido a la universidad mediante su designación como Centro Regional de Formación Meteorológica (CRFM).

En el otro extremo de la escala, en la mayoría de los países tropicales no hay ninguna universidad nacional que imparta cursos de meteorología. Por tanto, es necesario, que cualquiera que quiera formarse en la universidad, lo haga en el extranjero. Esto puede hacerse, bien en un CRFM, bien en una universidad extranjera con un potente departamento de meteorología. Cuando sus gobiernos pueden disponer de fondos suficientes como para que sus funcionarios puedan seguir un curso universitario, normalmente es para que éstos completen un ciclo de grado medio de tres a cuatro años en meteorología.

Sin embargo, algunos envían a los titulados de grado medio en matemática o en física de sus propias universidades a seguir un curso de licenciatura de uno o dos años o, excepcionalmente, a cursos de investigación conducentes a un doctorado. Muchos envían a sus alumnos de Clase I o Clase II a uno de los CRFM con sede en un instituto meteorológico que puede tener vínculos con una universidad, o no.

El alcance de la mejora del sistema actual

En opinión del autor hay dos sectores principales en los que se pueden conseguir mejoras en la formación de los meteorólogos de Clase I y Clase II en los trópicos. Estos son:

- adaptar los programas de estudios que se siguen; y
- reforzar los vínculos entre su Servicio y la institución de formación.

La necesidad de adaptar los programas de estudios

Para que la OMM designe a un instituto o a una universidad como CRFM para la formación profesional a nivel de Clase I o Clase II, debe satisfacer criterios estrictos relativos a personal e instalaciones y demostrar su capacidad docente para todos los programas de estudios básicos, y preferiblemente de la mayor parte del programa avanzado, de acuerdo con las directrices de la Organización. Sin embargo, la impresión que se obtiene al leer esos programas de estudios es que, aunque originalmente se han organizado teniendo básicamente en cuenta las necesidades de los meteorólogos de los trópicos y los ha empleado ampliamente el personal docente de los CRFM, en esencia reflejan lo que se enseña a los estudiantes universitarios en los países de las latitudes medias y altas. Aunque las universidades que tienen alumnos procedentes de los países tropicales ponen un énfasis especial en la meteorología tropical, en general el contenido de los cursos que siguen no se ha optimizado para satisfacer sus necesidades concretas.

A nivel de grado medio, a menudo surgen dificultades en el propio sistema universitario al hacer cursos a la medida para satisfacer exactamente las necesidades de los meteorólogos tropicales, puesto que algunas materias, como por ejemplo las matemáticas, se suelen diseñar para satisfacer necesidades mucho más amplias. Aquellas universidades que tienen en vigor cursos de nivel de grado medio en meteorología, ya habrán tratado muchos de estos problemas optimizando los horarios de estudio de los estudiantes para eliminar temas que no sean totalmente apropiados para los meteorólogos; si es que no lo han

hecho ya, no deberían encontrar demasiada dificultad en adaptar sus cursos para satisfacer las necesidades de los Servicios tropicales. Por otra parte, aquellas universidades que ofrecen sólo una selección limitada de cursos de meteorología, posiblemente como parte de un título en ciencias ambientales o en geografía, necesitarían efectuar cambios sustanciales para satisfacer las necesidades de un Servicio Meteorológico moderno.

Para el nivel de estudios superiores, los cursos de la licenciatura en ciencias suelen concentrar el contenido meteorológico de los cursos de grado medio en un solo año, aproximadamente, y luego lo complementan con un "proyecto especial" que habitualmente tiene un elemento de investigación. Los estudiantes de doctorado dedican a este último un período más largo, normalmente dos o tres años. Para quienes ya poseen una experiencia de varios años como meteorólogos en ejercicio, existen en algunas universidades la oportunidad de realizar investigaciones para obtener el doctorado en físicas o en matemáticas (e incluso en ciencias ambientales o en geografía). En todos esos casos es esencial que al menos un miembro del departamento universitario correspondiente, que esté convenientemente cualificado en meteorología, supervise la investigación, preferiblemente en colaboración con un miembro del Servicio Meteorológico del candidato.

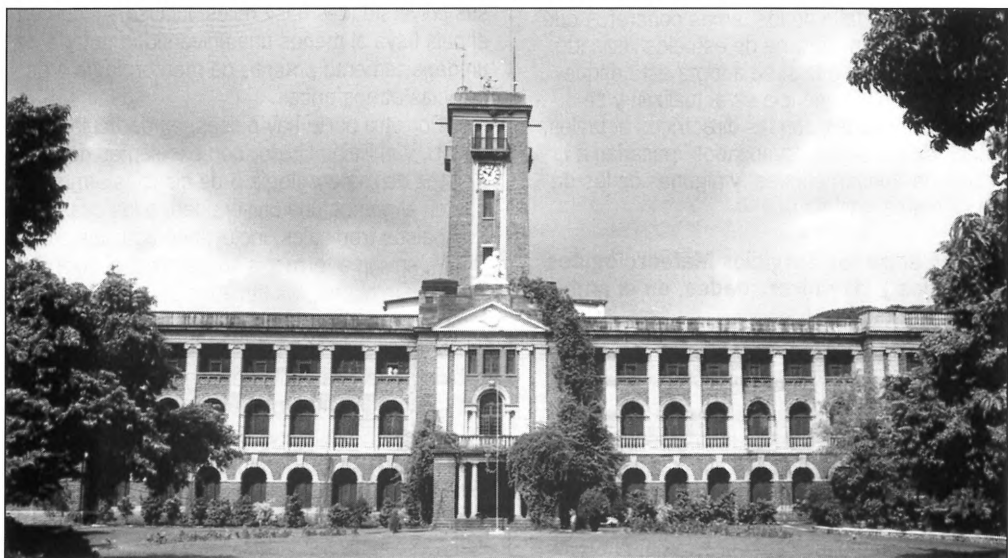
La necesidad de reforzar vínculos entre Servicio y universidad

En casi todos los casos en los que existen vínculos entre el Servicio y la universidad, se preci-

sa una colaboración todavía más estrecha, para garantizar que se satisfagan las necesidades específicas del Servicio. Ciertas universidades que forman a meteorólogos extranjeros, responden ya a dicha necesidad en sus estudios superiores (y algunas incluso en los temas especiales de grado medio) al permitir a los estudiantes investigar en sectores que ofrecen un interés directo para sus países. Sin embargo, en muchos casos los estudiantes llegan al departamento universitario con la única consigna de "obtener un título" y no hay contacto directo entre el Servicio y el departamento ni antes, ni durante, ni después de los cursos. El Servicio pide informes anuales de los progresos, pero a menudo éste es el único contacto.

La actualización y la adaptación de los programas de estudios para los meteorólogos tropicales

La tercera y última edición de la obra de la OMM "*Directivas para la enseñanza y la formación profesional*" se publicó hace diez años y actualmente se está revisando una vez más. Inevitablemente, algunas de las consideraciones hechas aquí, se tendrán ya en cuenta al preparar la nueva versión pero, sin embargo, puede ser útil discutir aquí su enfoque, relacionándolo con el contenido de la tercera edición. Sus programas de estudio para el personal de clase I están divididos en dos secciones, la primera común a todo el personal, con independencia de su campo de especialización, y la segunda de formación avanzada de especialistas. Los temarios del programa de estudios se reproducen en la tabla I.



El Centro de Formación del Servicio Meteorológico Nacional de la India se encuentra en la Oficina Meteorológica, en Pune

TABLA I
Temarios del programa de estudios de las *Directivas* de la OMM

A. Formación meteorológica fundamental

Meteorología dinámica, meteorología sinóptica, meteorología física;
Estática y termodinámica de la atmósfera;
Climatología, hidrología general, meteorología de la contaminación del aire;
Oceanografía general, interacción océano-atmósfera;
Instrumentos meteorológicos y métodos de observación;
Proceso de datos meteorológicos, aplicaciones de los satélites.

B. Formación avanzada del personal meteorológico

Meteorología dinámica, meteorología física, meteorología sinóptica;
Modificación artificial del tiempo, predicción numérica del tiempo.

Naturalmente, se debe conservar una gran parte de la materia contenida en estos programas, pero toda revisión actualizadora de los mismos que incorpore materia nueva, implicará alguna reducción en la versión anterior para que se pueda desarrollar en un ciclo de grado medio de tres a cuatro años de duración. Ese proceso se logra mejor, según creo, reagrupando y actualizando los temas y, al mismo tiempo, dando más prioridad a los de mayor interés para los meteorólogos tropicales. (Está previsto que los mismos temas meteorológicos los puedan cursar condensadamente los titulados de grado medio en matemáticas o en físicas.) Estas prioridades se basan en las necesidades previstas de formación de personal si éste tiene que adquirir los conocimientos que se resumen en las tres grandes áreas (a), (b) y (c) de la página 321. En la tabla II se sugiere un agrupamiento posible.

En este breve artículo no parece apropiado descender al detalle de los temas concretos que conformarían el programa de estudios revisado, pero resulta claro que si se adopta este esquema, es decir si en esencia se actualizan y se agrupan prioridades con las directrices actuales, algunos de los temas "avanzados" pasarían a la sección de "fundamentales" y algunos de los de esta última se omitirían.

Vínculos entre los Servicios Meteorológicos Nacionales y las universidades, en el ámbito de la formación

En aquellos CRFM existentes en los que tiene alguna participación una universidad, ya se ha establecido una estrecha relación laboral entre ambas instituciones. Las principales aportaciones del Servicio Meteorológico son el apoyo al personal docente de la universidad, a veces mediante normamientos conjuntos, y el suministro de datos y de equipos, normalmente en préstamo. El CRFM de Nairobi, ya mencionado, constituye un buen ejemplo. En otros CRFM que imparten hasta el ni-

vel de Clase I no participa estrechamente ninguna universidad; un ejemplo notable de esa situación es la India, donde se reclutan titulados universitarios de grado medio en ciencias o en matemáticas y reciben la mayor parte de su formación meteorológica en el Centro de Formación del Servicio Meteorológico Nacional, en Pune. Este importante CRFM forma a un gran número de meteorólogos de las Clases I y II procedentes de países de la Región II (Asia): 53 y 181 alumnos, respectivamente, desde octubre de 1991 a septiembre de 1993. Este centro, junto con el de Nairobi, con sus 45 y 295 titulados de las Clases I y II, reúnen a casi la mitad del total de estudiantes de ambas Clases (214 y 657) que se graduaron en la totalidad de los CRFM durante ese período.

Por tanto, actualmente hay una gran diferencia entre las políticas de formación de los países con CRFM, en lo referente a la participación de sus universidades nacionales, incluso aunque en el país haya al menos una universidad dotada de un departamento potente de meteorología o de ciencias atmosféricas.

Por otra parte hay países, en particular los EE.UU. y el Reino Unido, con excelentes departamentos de meteorología o de ciencias atmosféricas en al menos una universidad, a los cuales varios países tropicales, incluyendo aquellos con CRFM, envían a formar a su personal al nivel de Clase I. De hecho, los titulados de dichos departamentos se encuentran entre los instructores superiores de los CRFM. Estos departamentos han sabido atraer a estudiantes, sobre todo por haberse labrado entre los Servicios Meteorológicos de los países tropicales, a lo largo de muchos años, un excelente prestigio en la enseñanza y la investigación de la meteorología tropical. La OMM no ha otorgado ninguna calificación especial a esas universidades.

Puede que el Servicio Meteorológico nacional tenga alguna participación en las actividades

TABLA II
Estructura propuesta de un programa de estudios actualizado

A. Fundamentos

A1. Ciencias atmosféricas

Física — Termodinámica, radiación, física de nubes

Dinámica — Ecuaciones básicas, conceptos de vorticidad, ecuación omega, turbulencia

El tratamiento debe incluir la aplicación de los conceptos teóricos a los sistemas meteorológicos a cualquier escala, desde la mundial a la mesoescala, incluyendo, en concreto, los monzones, los ciclones tropicales, las ondas del este y la ZCIT

A2. Sistemas de observación atmosférica y análisis de datos

Instrumentos de las estaciones meteorológicas tipo, radar, satélites; análisis manual y objetivo de mapas de superficie y de altura; empleo de las imágenes de satélite para identificar los sistemas meteorológicos; análisis estadístico de los datos climatológicos

A3. Modelos atmosféricos

Perfil de los modelos EP mundiales y de área limitada, incluyendo la incorporación de los datos iniciales; modelos de ciclones tropicales y de sistemas convectivos (por ejemplo, las líneas de perturbación del África occidental); modelos climáticos de balance de energía; descripción de experimentos con modelos acoplados océano-atmósfera

A4. Hidrología

Consideración detallada de los elementos básicos del ciclo hidrológico; modelos de una cuenca vertiente sencilla

A5. Predicción y aplicaciones de la información meteorológica

Preparación de predicciones diarias empleando la mayoría de los datos de las observaciones recientes y los resultados de los modelos de la PNT; predicción estacional, en especial de la precipitación; aplicaciones de la información meteorológica a la aviación, la hidrología, la agricultura, la contaminación y la demanda del público en general, incluyendo riesgos meteorológicos extremos; presentación de la información en la forma más adecuada para satisfacer las necesidades de los usuarios

B. Temas especiales

B1. Meteorología por satélite

Instrumentación de los satélites y técnicas de observación; extracción de los datos meteorológicos, en especial la temperatura, los vientos, la humedad y la precipitación media (por ejemplo, empleando la duración de las nubes frías)

B2. Dinámica superior

Teoría superior de las ondas atmosféricas (incluyendo la OCB), turbulencia; energía, vorticidad potencial y sus aplicaciones; mareas atmosféricas

B3. Predicción numérica del tiempo

Punto de rejilla y técnicas espectrales; parametrización; asimilación de datos

B4. Oceanografía

Oceanografía básica; modelos de la circulación oceánica y modelos acoplados océano-atmósfera; empleo de éstos en estudios del clima

B5. Atmósfera superior

Física, dinámica y química de la atmósfera superior.

NOTAS

- (a) Se supone que durante los dos primeros años se imparten física y matemáticas suplementarias.
- (b) A1 y A2 se desarrollan paralelamente e incluyen prácticas de laboratorios de sinóptica, de informática y de física.
- (c) A5 incluye estudios detallados de casos empleando diagnóstico informática.
- (d) El curso incluiría un proyecto o revisión de un tema consensuado con el alumnado y referente a las necesidades específicas de sus países de origen.
- (e) Está previsto que los imperativos de tiempo restringirán el curso de primer grado, de forma que sólo incluirán uno de los temas B1 a B5.
- (f) Un ciclo de estudios superiores incluiría dos (o como máximo tres) de los cursos B1 a B5, además de versiones resumidas de los cursos A1 a A5.

de esos departamentos. Por ejemplo, en la universidad de Reading, en el Reino Unido, la *Meteorological Office* y la universidad colaboran estrechamente en el Centro Conjunto de Investigación a Mesoescala, ubicado en el campus universitario. Además de tener personal común, este centro posee un enlace rápido de telecomunicaciones con la sede de Bracknell para transferencia de datos. Sin embargo, en Reading no hay enlaces directos con los países tropicales que envían a sus estudiantes a formarse, ni por contacto entre sus plantillas ni mediante una telecomunicación moderna de datos. Por lo que el autor conoce, éste es también el caso en una o dos universidades de los EE.UU. de Norteamérica. La creación, en los próximos años, de mejores sistemas de comunicaciones puede ser muy útil para sentar las bases de una colaboración mucho más estrecha, en el ámbito de la formación, entre los Servicios Meteorológicos, en especial los de los trópicos, y las universidades.

Evolución futura de la formación de los meteorólogos tropicales

Se ha sugerido que toda la formación de las Clases I y II debería trasladarse, sin participación de los CRFM, a las universidades, en las cuales probablemente son mejores las plantillas y las instalaciones. Mientras que en los países industrialmente desarrollados, situados casi todos en latitudes medias y altas, la formación de los meteorólogos a escala nacional es un problema que se resuelve sobre todo con una participación amplia de las universidades, en la mayoría de los países tropicales está lejos de ser el caso, por razones ya analizadas. Allí, sólo un número pequeño de universidades ofrece cursos de meteorología y tan sólo dos o tres poseen recursos para formar a nivel de grado superior.

Es esta falta de actividades de grado superior en casi todos los CRFM, lo que inclina a muchos países tropicales a seguir prefiriendo enviar a sus alumnos a universidades de fuera de los trópicos con cursos de formación superior. Justificadamente, razonan que aunque ellos sólo requirieran formación hasta el nivel de grado medio, las plantillas docentes deberían, a su vez, dedicarse a la investigación, si tienen que mantener el nivel académico más alto. Lógicamente, necesitan hacer esto si sus estudiantes deben proseguir estudios de grado superior. Así mismo, los estudiantes pueden beneficiarse enormemente del estímulo de un entorno investigador, con sus frecuentes seminarios y oportunidades de relacionarse oficiosamente, tanto con los profesores como con otros estudiantes, incluyendo los de otras disciplinas.

Hay universidades, en los trópicos y fuera de ellos, capaces de impartir el ciclo descrito en la tabla II, en un entorno como el mencionado (pero esto no se aplica a todas las universidades que ofrecen un título en meteorología). Si en países en los que también se diera una estrecha colaboración con el Servicio Meteorológico, existiera un número de esas universidades suficiente como para satisfacer las necesidades previsibles de formación de meteorólogos de las Clases I y II en países tropicales, entonces sería claramente preferible para la OMM examinar la posibilidad de designar a dichas universidades como centros primarios con tal objetivo. Esas designaciones requerirían, según creo, actualizar los programas de estudios según las líneas ya indicadas y revisar la necesidad de definir dos clases distintas de meteorólogos titulados. Al examinar la idoneidad de una universidad para calificar para el título de formación de grado medio se deben considerar cuidadosamente sus vínculos actuales y potenciales con los Servicios Meteorológicos de los trópicos.

ENSEÑANZA CON ORDENADOR EN METEOROLOGIA

Por Ian BELL*

Introducción

Durante décadas se han venido utilizando ampliamente los ordenadores en meteorología. El campo de la formación ha sido de los primeros en la utilización de productos obtenidos mediante ordenador, como los procedentes de los modelos numéricos, o en el uso de equipos operativos, como los sistemas de presentación de

imágenes de radar o de satélite, McIDAS, etc. Sin embargo, sólo recientemente se han utilizado los ordenadores como herramienta de formación por sí misma, en la que a la vez el material pedagógico se genera y se utiliza en un ordenador personal. Las razones de ello residen en el soporte lógico, el soporte físico y en los conocimientos. Los ordenadores personales (compatibles con IBM y Macintoshes) son actualmente rápidos y capaces, con posibilidades de almacenamiento masivo y son además relativamente baratos. Los programas adecuados para

* Centro de Formación del Servicio Meteorológico, Melbourne, Australia