

# EL FORTALECIMIENTO DE LAS CAPACIDADES INSTITUCIONALES EN LA ENSEÑANZA DE LA METEOROLOGÍA

Por Carlos GARCÍA-LEGAZ\* y Francisco VALERO\*\*

## Introducción

En general, la modernización de la infraestructura de los Servicios Meteorológicos Nacionales (SMN) constituye un reto que sería un error no abordar adecuadamente. Algunos responsables políticos de los países en desarrollo, opinan que esta mejora sólo puede abordarse por las naciones con recursos económicos por encima del nivel medio y que la correspondiente inversión entraña un gasto que no pueden permitirse el lujo de afrontar.

Esta opinión entraña un error científicamente rebatible, ya que el beneficio económico que resulta de la mejora en la prestación de los servicios y productos meteorológicos está fuera de toda duda [1] y la rentabilidad de sus aportaciones alcanza cotas altísimas. Esto, por ejemplo, se pone de manifiesto en el estudio efectuado por Adams *et al.* [2], donde se analiza el valor de la mejora en la predicción del fenómeno de El Niño para la agricultura de los EE.UU. en relación con los rendimientos de las cosechas de cereales. En dicho estudio se llega a la conclusión de que, siendo de 144,5 millones de dólares el valor en el mercado libre de una información meteorológica perfecta del fenómeno, el de la predicción mejorada representa la cuantía de 96 millones de dólares (en dólares de 1990). Adicionalmente, y como factor aún más importante, debemos poner de manifiesto que hechos tan trágicos como son los desastres atmosféricos naturales que durante el pasado año devastaron distintas zonas de Centroamérica, el Caribe, China y otras partes de Asia, con un balance de 50 000 víctimas y unas pérdidas materiales evaluadas en unos 100 000 millones de dólares de los EE.UU. (según la aseguradora alemana Munich Re) revelan la necesidad imperiosa de perfeccionar

cada vez en mayor medida las infraestructuras meteorológicas de todos los países, con objeto de poder profundizar en el conocimiento de los fenómenos atmosféricos y de este modo proceder, con las mayores garantías posibles, a hacer frente a este tipo de catástrofes y minimizar la pérdida de bienes materiales y de vidas humanas.

Una vez puestas de manifiesto las ventajas evidentes que se derivan de la mejora de la infraestructura técnica de los medios e instalaciones de los SMN, hay que resaltar que la utilización consiguiente y la obtención de productos y servicios cada vez más sofisticados y perfectos no se consigue de modo inmediato. En efecto, para ello resulta indispensable realizar esfuerzos paralelos para la adecuada capacitación del personal encargado de la explotación y mantenimiento de los medios tecnológicos que hayan de implantarse en la preconizada modernización. Y esto no solamente en cuanto a técnicas y herramientas relativamente nuevas, como son las informáticas y de telecomunicaciones, sino también en cuanto a una profundización en los conocimientos convencionales de las distintas ramas y disciplinas en que pueden subdividirse la Meteorología y la Climatología. En efecto, para la obtención de un rendimiento elevado, el personal de los SMN debe de tener conocimientos cada vez más profundos en múltiples aspectos científicos y técnicos de estas ramas. En ello radica, precisamente, una de las claves del éxito que pretende alcanzarse: la implantación y desarrollo de una metodología integradora de las diversas técnicas de aplicación de las distintas disciplinas que constituyen las ciencias atmosféricas.

Por consiguiente, se requiere urgentemente el fortalecimiento de las

\* Director del Centro de Formación Meteorológica. Instituto Nacional de Meteorología (España). Miembro del Grupo de Expertos del CE de la OMM sobre Enseñanza y Formación Profesional

\*\* Profesor Titular de Meteorología. Universidad Complutense de Madrid (España)

capacidades en la enseñanza meteorológica por parte de las instituciones tales como los Centros Regionales de Formación Profesional (CRFP) de la OMM, los Centros de Formación de los SMN de los países desarrollados y de los Departamentos de Meteorología, Física del Aire o Ciencias de la Atmósfera de las Universidades.

### **Objetivos generales**

Para perfeccionar la docencia de los nuevos aspectos del conocimiento científico relacionados con la Meteorología y disciplinas afines, resulta indispensable tener presentes una serie de objetivos que constituyen la meta a alcanzar.

Más o menos durante la última década se viene percibiendo una concienciación sobre los temas relacionados con la vulnerabilidad de la sociedad a la inconstancia del clima. Parece evidente que las actividades humanas pueden modificar inadvertidamente el medio ambiente climático global, p.e. mediante el uso de los combustibles fósiles, la emisión de gases traza, la contaminación por aerosoles y mediante la deforestación. También parece evidente que el clima controla el desarrollo y funcionamiento de los medios físico, biológico y cultural, si bien estas relaciones han sido enmascaradas por el calentamiento global de los últimos años. Sin embargo, se debe tener presente que estas relaciones corren el riesgo de cambiar sustancialmente durante el próximo siglo si el calentamiento global se acelera de acuerdo con las predicciones de los modelos climáticos actuales. Este hecho desencadenaría respuestas físicas y biológicas que sería oportuno examinar.

La enseñanza moderna de la Meteorología y la Climatología debe revisar los desarrollos metodológicos y prácticos incluyendo en su currículo la forma de explorar las complejas relaciones y respuestas entre la meteorología y el clima con el medio ambiente en la actual situación de incertidumbre y de cambio.

El desarrollo científico y tecnológico nos permite disponer de información cuantitativa nueva sobre las variaciones climáticas del pasado, de observaciones globales de parámetros atmosféricos de distinta resolución desde el espacio y de salidas de modelos de ordenador con los que es posible simular el tiempo y el clima global. Estas nuevas herramientas, junto con el creciente interés

mostrado por la humanidad sobre el tema del cambio medioambiental global y sus impactos se ha traducido en un aumento de la actividad de investigación científica del clima.

De este modo, las ciencias atmosféricas se configuran genéricamente en torno a las materias que hacen referencia al estudio de los sistemas terrestres y de sus interacciones con el sistema humano, que dan lugar al medio ambiente. Por consiguiente, son ciencias de aplicación de otros campos diversos, y no sólo de las ciencias de la naturaleza, sino de otras que, como la geografía, proceden del campo de las ciencias sociales e incluso de las humanidades.

Así pues, la Meteorología y la Climatología constituyen buenos instrumentos para analizar y comprender de un modo global la realidad que nos rodea y las relaciones interdisciplinarias conexas; su objetivo final es la evaluación del entorno y de los problemas resultantes de la influencia humana.

Por ello, esta disciplina debe contribuir a la adquisición, como mínimo, de las capacidades generales siguientes:

- El conocimiento de la existencia de límites para la explotación de determinados recursos dentro de un escenario de desarrollo sostenible, y en consecuencia, la valoración de la rentabilidad de la explotación de los recursos naturales, así como el análisis de los impactos de su utilización.
- La comprensión del funcionamiento de los subsistemas atmosféricos y sus interacciones entre sí y con otros componentes del sistema climático, de modo que pueda llegar a establecerse la implicación de fenómenos inicialmente locales en otros de mayor escala e incluso aquellos de alcance global.
- En términos más concretos, el análisis de las causas meteorológicas de los riesgos naturales, con el fin de poder adoptar medidas para prevenirlos o minimizarlos.
- La utilización de diversas técnicas para abordar las áreas específicas reflejadas en los apartados anteriores (relacionadas con la informática, la estadística, las telecomunicaciones, etc.).
- La investigación de los fenómenos medioambientales, mediante la utilización

de métodos científicos relacionados con la adquisición de datos, su análisis y elaboración de conclusiones y propuestas alternativas, con el fin de aportar soluciones a los problemas planteados.

### Objetivos didácticos fundamentales

Con objeto de desarrollar un currículo concreto que permita la consecución de los objetivos generales anteriormente planteados, vamos a exponer las directrices programáticas con las que se deben abordar los contenidos concretos de determinadas cuestiones prioritarias relacionadas con el tema que nos ocupa y que complementan a los incluidos en los programas y planes de estudio de los Centros que se han encargado tradicionalmente de la enseñanza de las ciencias atmosféricas.

- *Impacto del cambio climático global sobre los sistemas naturales:* esto incluiría los presuntos efectos del cambio climático sobre los diversos ecosistemas, creando las bases indispensables para la valoración del impacto socioeconómico del cambio, y la elaboración de las correspondientes estrategias de respuesta.
- *Vigilancia del cambio climático global en los sistemas terrestres:* su finalidad es la obtención de indicadores del cambio climático y el desarrollo de una metodología para el análisis e interpretación de los registros que contienen información de los ecosistemas afectados por el cambio, en especial, de aquellos que resultan más sensibles.
- *Variabilidad y predictibilidad climática:* el objetivo es obtener indicadores de la variabilidad del clima y su predictibilidad que sean de interés para el logro de un desarrollo medioambiental social y económicamente sostenible. Además, el programa debe enfocarse en la enseñanza de los aspectos básicos relacionados con los métodos de optimización de las predicciones climáticas a diferentes escalas, en especial a las que hacen referencia al fenómeno de El Niño/Oscilación del Sur, y sus aplicaciones a la agricultura, los recursos hídricos y a la planificación energética.
- *Modelización climática:* esto abarca el estudio de los modelos climáticos y los

métodos de validación en lo que respecta a su capacidad para reproducir el clima presente. Paralelamente, debe de continuar el análisis de los escenarios de la futura evolución del clima y su regionalización.

- *Desertificación:* debe darse preferencia a la investigación para determinar la influencia de los distintos factores implicados (climáticos, edafológicos, hídricos, etc.) que juntos conducen a la degradación del suelo en las zonas afectadas por este proceso.
- *Riesgos atmosféricos naturales:* contempla el desarrollo de métodos para la vigilancia y prevención de este tipo de riesgos con vistas a la mitigación de las catástrofes inherentes, con particular atención a las avenidas e inundaciones, huracanes o ciclones tropicales y, en general, a tempestades o fenómenos ciclónicos atípicos.
- *Incendios forestales:* el objetivo básico es aproximarse a la relación entre el tiempo atmosférico y los incendios forestales, analizando el papel de los factores meteorológicos como causa directa e indirecta de los incendios.
- *Contaminación atmosférica:* debe incluir el estudio de los procesos de transporte, difusión, dispersión y deposición de contaminantes, tanto por vía seca como húmeda, así como de los procesos de retroalimentación y la capacidad de la atmósfera para su neutralización. El grado de contaminación atmosférica no es el mismo en los núcleos urbanos que en zonas rurales alejadas de las fuentes emisoras de contaminación, por lo que el estudio ha de ser específico para cada caso:
  - *A escala global* (contaminación de fondo planetaria): para determinar la intensidad del efecto invernadero. Se deben analizar tanto las emisiones naturales como antropogénicas, así como la interacción entre éstas y los procesos de transformación tanto químicos como meteorológicos que controlan la concentración de agentes oxidantes en la atmósfera.
  - *A escala regional:* para estudiar, por una parte, las reacciones químicas que dan lugar al conocido fenómeno de la "lluvia ácida" con inclusión de los mecanismos

atmosféricos que permiten que se desarrolle el proceso de deposición seca o húmeda y, por otra parte, los efectos producidos, incluyendo aquellos relacionados con la salud humana, los materiales y distintos ecosistemas.

- A escala local (contaminación urbana): para considerar el impacto de los gases de efecto invernadero en las ciudades y la adopción de medidas para su reducción, así como el papel de la atmósfera urbana en el estudio de analogías potenciales entre el microclima de las ciudades y determinados aspectos de los futuros escenarios del cambio climático global.
- *Química estratosférica*: esto abarca el análisis de los escenarios de evolución del ozono derivada del aumento de la concentración en la atmósfera de los CFC e incluye los posibles efectos de un espectacular aumento en el futuro de la navegación aérea. Por ello, el programa debe contener temas relativos a los procesos básicos así como a la instrumentación e interpretación de datos de química atmosférica. Un aspecto sumamente importante radica en el hecho de que la perturbación del ozono no puede tratarse aisladamente del aumento de la concentración atmosférica del dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, por lo que se hace indispensable la consideración de la problemática de acoplamiento no sólo de los modelos climáticos globales y de transporte químico sino también de los modelos atmósfera-océano.

La relación anterior de ningún modo es exhaustiva. Entraña, sin embargo, cuestiones que, por su actualidad y por la importancia de sus implicaciones en la sociedad, deben de tenerse en cuenta en la preparación de especialistas que puedan encontrar soluciones eficaces. No obstante, esta relación es una lista abierta y adaptable, susceptible de completarse con otros temas ya existentes o que puedan plantearse en el futuro.

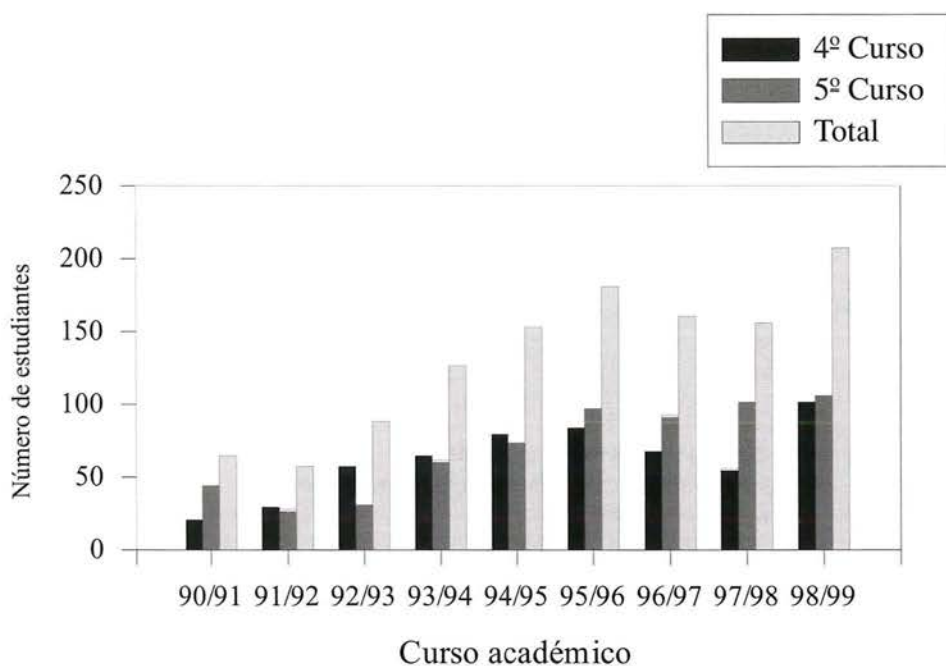
### **La colaboración entre instituciones docentes**

Los objetivos generales y específicos de carácter didáctico que se han expuesto no

podrán lograrse adecuadamente sin el establecimiento de lazos de colaboración entre las diversas instituciones que comparten la enseñanza de la Meteorología [3]. En realidad, resulta sumamente improbable, por no decir imposible, que un Centro de Formación de un SMN o un Departamento universitario de Física del Aire puedan por sí solos disponer de los medios e instalaciones y del profesorado suficiente para abordar satisfactoriamente el amplio abanico de materias enumeradas. Por ello, se hace indispensable el establecimiento de vínculos de cooperación entre estas instituciones docentes con el fin de compartir técnicas, asignaciones y responsabilidades de formación. Creemos sinceramente que ésta es la única forma de resolver estos problemas, máxime cuando el abanico de posibilidades es tan amplio, desde el simple intercambio de material didáctico o profesorado hasta la creación de planes de estudio de especialidades que supongan el intercambio de alumnado y una estrecha interconexión de métodos de enseñanza, recursos e instalaciones.

Un ejemplo de esto es la reciente implantación del Curso Magíster en Climatología Aplicada y Evaluación de Riesgos Medioambientales para postgraduados universitarios que los autores de este artículo han tenido el honor de promover y la satisfacción de conseguir su aprobación por las autoridades académicas de la Universidad Complutense de Madrid y las administrativas del Instituto Nacional de Meteorología (INM) de España. El cuadro de la pág. 212 muestra la estructura y contenidos del citado curso, cuya duración es de 650 horas lectivas teóricas y prácticas.

Este curso se encuentra actualmente en pleno desarrollo y ya se vislumbra el logro de los objetivos establecidos con su creación. Su gestación ha supuesto un extenso esfuerzo multidisciplinar, no sólo en cuanto que abarca prácticamente todas las materias enumeradas anteriormente, sino en cuanto a una íntima colaboración e intercambio de experiencias didácticas de un amplio cuadro de profesores pertenecientes a distintas universidades españolas, el INM y otras entidades tanto del sector público como privado. En lo que respecta al logro de los objetivos pretendidos existe ya una demanda potencial por parte de distintas instituciones y empresas de los



Número de estudiantes matriculados en la especialidad de Física de la Atmósfera de la Universidad Complutense de Madrid, 1990/1991-1998/1999. Esta especialidad constituye los dos últimos cursos (cuarto y quinto) que conducen a la licenciatura en Ciencias Físicas

especialistas que surjan a la conclusión del mencionado curso. Este hecho confirma la idoneidad de las aseveraciones realizadas en el presente artículo.

### Acciones recomendadas

De las ideas expresadas en los apartados anteriores se deduce claramente que debe de crearse la capacidad de enseñanza de la Meteorología a niveles nacional y subregional, en particular en los países en desarrollo en los que la infraestructura docente de los SMN no es demasiado potente. Con este objetivo, recomendamos un conjunto de acciones que constituyen una base mínima para alcanzar resultados aceptables al respecto. Éstas son:

- La necesidad de utilizar al máximo posible los recursos materiales y humanos de los centros de formación de los países desarrollados, con objeto de brindar el acceso a los mismos de los profesores de los SMHN de los países en desarrollo.
- Con el mismo fin, debe prepararse un inventario de tecnologías disponibles y en general de conocimientos y "know-how" que pueda ofrecerse al personal docente involucrado.

- Los departamentos universitarios implicados en la enseñanza de las ciencias atmosféricas deben desarrollar mecanismos tendentes a facilitar el intercambio de información actualizada y de experiencias didácticas innovadoras, aprovechando la existencia tanto de las redes informáticas de comunicación como de los campos ya existentes de colaboración.
- Las organizaciones internacionales, y en especial, la OMM, a través de su Departamento de Enseñanza y Formación Profesional y los CRFP, deben de implicarse aún más en las estrategias para potenciar el intercambio y oferta de recursos, medios y tecnologías didácticas siguiendo el espíritu pionero existente desde hace muchos años.

Creemos sinceramente que la puesta en práctica de estas acciones ayudará a la consecución del fortalecimiento institucional de las capacidades de la enseñanza de la meteorología, especialmente en los países en desarrollo. Los hitos que en particular deben alcanzarse son:

**Estructura modular y contenidos temáticos del Curso Magíster en Climatología aplicada y evaluación de riesgos medioambientales de la Universidad Complutense de Madrid, España**

<i>Módulo</i>	<i>Contenido</i>
<b>I</b>	<p><b>Fundamentos de Meteorología y Climatología</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Termodinámica y Estática de la atmósfera</li> <li>2. Meteorología de la gran escala</li> <li>3. Capa límite</li> <li>4. Fundamentos de teledetección</li> <li>5. Sistemas de precipitación en latitudes medias</li> <li>6. Circulación general atmosférica y oceánica</li> <li>7. Escalas temporales y analogías climáticas</li> </ol>
<b>II</b>	<p><b>Procesos e interacciones climáticas</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cinética química y fotoquímica atmosféricas</li> <li>2. Química estratosférica</li> <li>3. Fotoquímica troposférica</li> <li>4. Química de aerosoles</li> <li>5. Lluvia y niebla ácidas</li> <li>6. Respuestas climáticas</li> <li>7. Radiación UV solar</li> </ol>
<b>III</b>	<p><b>Contaminación, gestión de la calidad del aire y evaluación de riesgos ambientales</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Meteorología de la contaminación atmosférica</li> <li>2. Difusión atmosférica. Transporte y deposición de contaminantes</li> <li>3. Contaminación atmosférica: urbana e industrial, regional y transfronteriza</li> <li>4. Vigilancia y protección del ambiente atmosférico</li> <li>5. Prevención y evaluación de riesgos atmosféricos no nucleares</li> <li>6. Seguridad ambiental y evaluación de riesgos atmosféricos nucleares</li> </ol>
<b>IV</b>	<p><b>Técnicas y aplicaciones climatológicas</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Software científico medioambiental y programación</li> <li>2. Técnicas estadístico-numéricas y modelización estadística</li> <li>3. Desarrollo e integración de bases de datos</li> <li>4. Ciclo del agua</li> <li>5. Aplicaciones climáticas a los sectores de:             <ol style="list-style-type: none"> <li>A. Agricultura y forestal</li> <li>B. Industria y de la construcción</li> <li>C. Transportes</li> <li>D. Energía</li> <li>E. Seguros</li> <li>F. Salud</li> </ol> </li> </ol>
<b>V</b>	<p><b>Variabilidad climática e impactos y riesgos climáticos</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Métodos para el análisis de variabilidad climática             <ol style="list-style-type: none"> <li>A. Determinación de la variabilidad intraestacional</li> <li>B. Determinación de la variabilidad interanual</li> </ol> </li> <li>2. Valoración de impactos y riesgos climáticos</li> <li>3. Aplicaciones de los sistemas de información geográfica</li> </ol>
<b>VI</b>	<p><b>Gestión y dirección de proyectos medioambientales</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Programas nacionales e internacionales de vigilancia</li> <li>2. Dirección integrada de proyectos medioambientales: planificación y control</li> <li>3. Evaluación del riesgo del proyecto</li> </ol>

- Una "masa crítica" de actividades docentes, incrementándolas, cuando sea necesario, en los centros de formación existentes.
- La aportación de los fondos de financiación requeridos para ello a través de las fuentes nacionales e internacionales adecuadas.
- El establecimiento de una cooperación entre las instituciones docentes a nivel regional.
- Una incentivación por parte de los países en desarrollo indicando sus prioridades dentro de sus requerimientos de enseñanza de las ciencias atmosféricas.

### Observaciones finales

Con las líneas anteriores creemos haber resaltado el hecho de que la evolución de la ciencia y la tecnología incide muy directamente en la sociedad de nuestros días. Ello, por su parte, condiciona el crecimiento económico, el bienestar y la competitividad de los sectores productivos.

Nuestro objetivo fundamental es responder a tiempo a los posibles desarrollos y avances de la ciencia y la tecnología, así como a las oportunidades de desarrollo de mercados y productos. Desde este punto de vista podrían enmarcarse en la moderna disciplina denominada "Prospección científica y tecnológica", materia de creciente importancia cuyo objetivo consiste en el suministro de elementos de juicio útiles en el proceso de toma de decisiones. En nuestro caso, en el contexto del esquema oferta-demanda, este proceso considera las necesidades medioambientales, a la vez que la oferta la constituye el conjunto de nuevos recursos científicos y tecnológicos, junto con las nuevas oportunidades que éstos pueden traer.

A pesar de que en el terreno de la enseñanza de las ciencias atmosféricas no resulta en absoluto sencillo contar con todos los elementos que permitan la provisión de herramientas útiles para la toma de decisiones a que se ha aludido, resulta, sin embargo, absolutamente indispensable la potenciación de la conciencia colectiva para encontrar soluciones a los problemas medioambientales que una sociedad en pleno desarrollo plantea; esto sólo podrá lograrse mediante la formación de especialistas preparados para la aportación de soluciones *ad hoc*.

Como conclusión, y para resumir las aspiraciones contenidas en el último párrafo, no podemos dejar de mencionar uno de los principales objetivos de la OMM reflejados en su Cuarto Plan a Largo Plazo 1996-2005 [4] referente a la creación de capacidades:

"Reducir las diferencias entre los SMHN de los países en desarrollo y desarrollados mediante un enfoque estratégico coordinado para prestar ayuda a la preparación de planes nacionales, a la promoción de la sensibilización pública, la enseñanza, la formación profesional y la cooperación técnica, así como la determinación de posibles mecanismos de financiación".

Aunque en este artículo sólo se ha hecho mención expresa a la cooperación entre instituciones de un mismo país, las posibilidades de cooperación internacional están abiertas y ofrecen una perspectiva francamente esperanzadora. Un ejemplo lo constituye el Proyecto Clima Iberoamericano, cuyo estudio de factibilidad acaba de concluir y que ha consistido en el análisis de las necesidades de mejora de la infraestructura y medios de los SMHN de 13 países latinoamericanos. El estudio ha sido financiado por los EE.UU., Canadá y España, siendo la OMM la agencia ejecutora y el Banco Interamericano de Desarrollo quien ha financiado y supervisado los informes y recomendaciones de todas las fases. De la ejecución de éstas se esperan grandes resultados y se habrá dado un paso importante para el cumplimiento de la aspiración fundamental contenida en la declaración de principios de la OMM antes citada: la reducción de la diferencia actualmente existente entre las prestaciones de los SMN de los países en desarrollo y de los desarrollados.

### Bibliografía

- [1] KATZ, R. W., and A. H. MURPHY (Eds.), 1997: Economic value of weather and climate forecast. Cambridge University Press.
- [2] ADAMS, R. M., K. S. BRYANT, B. A. McCARL, D. M. DEGLER, J. O'BRIEN, A. SOLOW and R. WEIHER, 1995: Value of improved long-range weather information. Contemporary Economic Policy, **XIII**, 10-19.
- [3] WMO, 1997: Commission for Climatology-twelfth session (Geneva, 4-14 August 1997). Resolutions II (CCI-XII), WMO-Nº 870, Ginebra.
- [4] OMM, 1996: Cuarto Plan a Largo Plazo de la OMM 1996-2005. Resumen de los objetivos, políticas y estrategia. WMO-Nº 831, 24 pp. □