

# LA VIGILANCIA DE LA ATMÓSFERA MUNDIAL: SU CONTRIBUCIÓN PARA CONOCER Y PROTEGER NUESTRA ATMÓSFERA EN EVOLUCIÓN

Por J.M. MILLER<sup>1</sup> y J. YOUNG<sup>2</sup>

## Introducción

En los 5 años transcurridos desde que se celebró la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), ha progresado considerablemente nuestro conocimiento de los cambios que se están produciendo en la química atmosférica y de su influencia en el clima y en el medio ambiente. Sabemos que las actividades humanas están alterando el equilibrio del medio ambiente atmosférico, produciendo cambios que están afectando no sólo a la humanidad sino también a los animales, a las plantas y a los ecosistemas a los que pertenecen. La responsabilidad principal de coordinar a escala internacional la vigilancia a largo plazo de los cambios en la composición de la atmósfera mundial corresponde a la Organización Meteorológica Mundial, que la lleva a cabo mediante su Vigilancia de la Atmósfera Mundial (VAM). Estas actividades, algunas de las cuales datan de los años 50, se han diseñado para integrar los programas de vigilancia y la investigación de la química atmosférica mundial y regional. La VAM es, principalmente, un programa de medidas a largo plazo, que no sólo proporciona las tendencias que son esenciales para las valoraciones del IPCC o para vigilar los efectos del protocolo de Montreal sobre el ozono estratosférico, sino que también sirve como sistema de avisos previos de los cambios en la química de la atmósfera, que es el sistema que soporta la vida en el planeta Tierra. En la figura 1 se muestra la red actual de observatorios mundiales de la VAM.

Las concentraciones crecientes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y de metano, la disminución de la capa de ozono estratosférico, el aumento del ozono troposférico, la mayor acidez de la precipitación y los cambios en el balance radiativo del sistema Tierra-

atmósfera-energía, reflejan todos ellos la influencia creciente de la actividad humana en la atmósfera mundial y fueron preocupaciones que ya se expresaron en la CNUMAD. En respuesta a ellas, la OMM, mediante su Programa de la VAM, ha insistido en el seguimiento a largo plazo de varios temas ambientales que tienen una importancia primordial para conocer las consecuencias de los cambios de la química atmosférica. Entre ellos están:

## Gases invernadero

El aumento de los gases invernadero, en especial del CO<sub>2</sub>, como se muestra en la figura 2, está amenazando con cambiar el clima y el tiempo de la Tierra, llevando a un calentamiento gradual del mundo en el siglo próximo. La magnitud de ese calentamiento y la gravedad con que nos afecte dependerán de las concentraciones de gases invernadero en la atmósfera. Por tanto, el vigilar dichas concentraciones es de la mayor importancia para evaluar el futuro del planeta. Entre otros gases invernadero que se deben vigilar en diversos puntos de todo el mundo están el metano, los clorofluorocarburos (CFC), el óxido nitroso y el ozono.

La OMM vigila los niveles de CO<sub>2</sub> desde 1960, cuando creó una red mundial que, desde que se transformó en la VAM, ha sido la fuente principal de información sobre la química atmosférica.

El Centro Mundial de Datos de los Gases Invernadero que la OMM ha ubicado en Tokio, Japón, se fundó en 1990 para archivar todos los datos relativos a los gases invernadero, para asegurar el acceso de los usuarios a ellos y para ponerlos al alcance de la comunidad científica, de los gobiernos y de los políticos.

## Ozono y radiación ultravioleta

La capa de ozono estratosférico que está a unos 20 km de altura protege a la superficie terráquea de los rayos ultravioleta dañinos (UV-B) procedentes del Sol. Se están emitiendo a la atmósfera productos químicos que están disminuyendo la cantidad de ozono

<sup>1</sup> Jefe de la División de Medio Ambiente, del Departamento del Programa de Investigación Atmosférica y Medio Ambiente de la OMM

<sup>2</sup> Funcionario técnico en el Departamento del Programa de Investigación Atmosférica y Medio Ambiente de la OMM

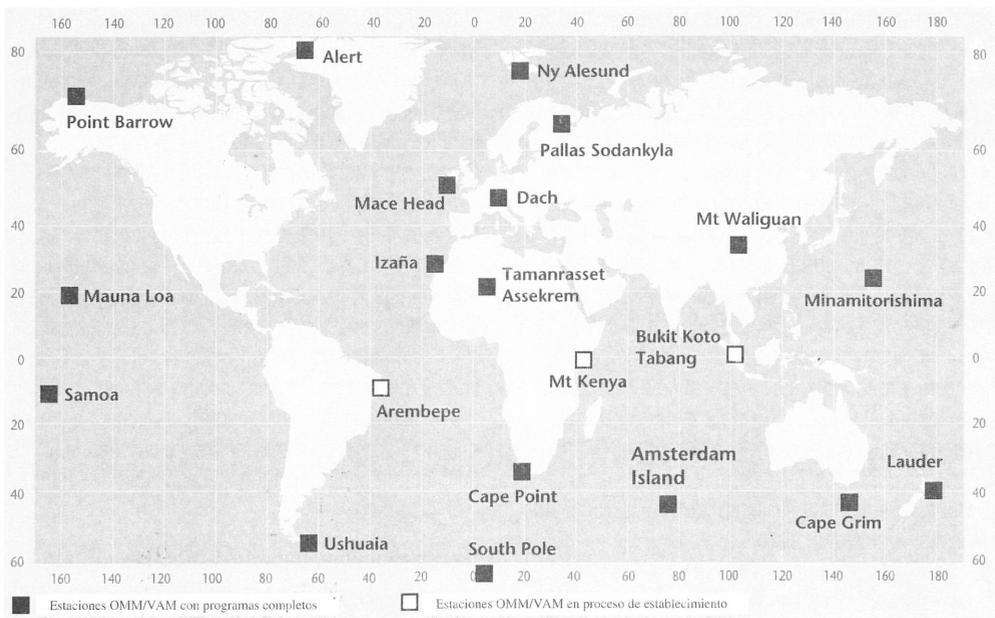


Figura 1 — La red de observatorios mundiales de la VAM (enero de 1997)

(figura 3), como los CFC, que se usan en refrigerantes, en limpiadores industriales y en vaporizadores de espuma. Esa disminución de ozono está originando un aumento de UV-B, con efectos potenciales dañinos para la biosfera.

La OMM comenzó a coordinar las observaciones del ozono ya en 1957. Desde entonces, en cooperación con la Comisión Internacional del Ozono y con más de 60 países Miembros de la OMM, se miden los niveles totales de ozono en unas 140 estaciones de la VAM en todo el mundo. Estas medidas se están complementando con los datos de satélites. La OMM hace también evaluaciones regulares del estado de la disminución del ozono y ha publicado numerosos informes científicos sobre el tema. Además, se publican boletines acerca del estado de la capa de ozono en la Antártida durante la primavera austral y mapas diarios del ozono durante el invierno boreal, utilizando datos del ozono en tiempo casi real obtenidos en las estaciones de ozono de la VAM.

Los datos del ozono se concentran en el Centro Mundial de Datos de Ozono y de Ultravioleta que la OMM ha situado en Toronto, Canadá, y se publican de forma rutinaria.

### **Depósitos ácidos**

Hay precipitación ácida en muchas partes del mundo, en especial en Europa y en Norteamérica, pero también en Japón, en el Sudeste asiático, en partes de China y en los centros de expansión industrial del

hemisferio sur. Los ácidos se forman en la atmósfera por oxidación del dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y de los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) que se producen durante la fundición de las menas minerales y la quema de combustibles fósiles; luego pueden ser transportados a cientos e incluso miles de kilómetros en el seno de la atmósfera. La precipitación ácida está alterando la química del suelo, afectando a los manantiales de agua dulce, y causando daños graves a los edificios, los bosques y los ecosistemas de agua dulce.

La lluvia ácida se detectó por vez primera en los años 60 en las estaciones de vigilancia de Suecia, y fue la preocupación de ese país la que condujo a que se celebrase la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano (Estocolmo, 1972). La situación actual es que, después de decenios de investigación, de vigilancia y de medidas políticas, los depósitos ácidos son todavía un problema importante en Europa y en Norteamérica; y comienzan a ser un problema en otras zonas geográficas como resultado de una industrialización rápida y de un consumo creciente de combustibles fósiles. Actualmente se vigila a largo plazo la química de la precipitación en más de 130 estaciones de la VAM en todo el mundo. Estos datos se concentran en el Centro Mundial de Datos de la Química de la Precipitación que la OMM ha ubicado en Asheville, NC, EE. UU.

### **Aerosoles**

Los aerosoles atmosféricos influyen en el clima de

varias formas importantes. Son las pequeñas partículas sólidas o líquidas de, por ejemplo, los sulfatos, el polvo o la sal marina, en suspensión en la atmósfera y que pueden ser producidas por la actividad humana o también ser generadas de forma natural. Sus efectos dependen tanto de su tamaño como de su composición química. Su presencia produce generalmente un enfriamiento de la superficie de la Tierra y de la atmósfera inferior, porque tienden a reflejar la radiación incidente. Se ha calculado que el enfriamiento que los aerosoles producen al aumentar la reflectividad de la Tierra, podría compensar sobradamente el calentamiento mundial que se produciría si se duplicasen los niveles de  $\text{CO}_2$ . Los aerosoles influyen también bastante en el clima porque constituyen los núcleos de condensación para que se formen las nubes; el efecto puede ser importante en las nubes de tipo estratos situadas sobre el océano.

Los datos de los aerosoles atmosféricos son relativamente escasos y la OMM, a través de la VAM, ha iniciado un programa de vigilancia a largo plazo de los aerosoles, complementario de las observaciones que efectúan los satélites. El objeto es conocer los cambios que están ocurriendo en las concentraciones y en las distribuciones de los distintos aerosoles atmosféricos mediante una serie de medidas hechas en lugares seleccionados de la VAM. Estos datos se están concentrando en el Centro Mundial de Datos de los Aerosoles que la OMM ha situado en Ispra, Italia.

### **Transporte a gran distancia**

Muchos contaminantes atmosféricos, en especial los que presentan la forma de aerosoles, pueden ser transportados en la atmósfera a distancias muy grandes, a menudo a cientos e incluso a miles de kilómetros. Por ejemplo, al menos el 5% del azufre que se emite en toda la costa oriental de Norteamérica es transportado hasta llegar a las costas occidentales de Europa.

Uno de los numerosos objetivos de la VAM es conocer mejor el transporte a gran distancia de los contaminantes atmosféricos. Por ello, una componente esencial de la VAM es alentar a que se elaboren y apliquen modelos matemáticos del transporte, la transformación y el depósito en el seno de la atmósfera de sustancias que son potencialmente peligrosas.

La OMM ha participado en varias redes regionales, como el Programa Cooperativo para Vigilar y Evaluar la Transmisión a Gran Distancia de los Contaminantes del Aire en Europa, que fue organizado por la OMM, en la Comisión Económica para

Europa (CEE), de la ONU, y en el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), los cuales han suministrado mucha información útil acerca de los depósitos ácidos en el continente europeo. La OMM ha cooperado también con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y con la CEE en el Estudio de Comparación de Modelos que se realizó tras el accidente de Chernobyl, cuando se hizo evidente la necesidad de poder predecir los procesos de transporte y de depósito a las escalas continental y mundial. Además, la VAM está participando, junto con la OIEA y la CEE, en el Experimento Europeo con Trazadores, un estudio de seguimiento del transporte atmosférico a gran distancia por encima del continente europeo, a fin de aumentar el conocimiento y la capacidad de predicción actuales.

### **Gases reactivos y medio ambiente urbano**

Entre los gases reactivos que vigila la VAM están el monóxido de carbono (CO), el  $\text{SO}_2$ , el ozono troposférico y los  $\text{NO}_x$ . Aunque estos gases no contribuyen directamente al efecto invernadero, pueden influir en la química de los gases invernadero importantes a través de sus interacciones con los radicales hidroxilo (OH) existentes en la atmósfera. Además, como gases contaminantes, son importantes porque influyen en el medio ambiente en la superficie terrestre. Por ejemplo, tanto el  $\text{SO}_2$  como los  $\text{NO}_x$  reaccionan fotoquímicamente y son los precursores principales de la lluvia ácida. Los  $\text{NO}_x$  tienen también un papel clave para determinar las concentraciones de ozono en el conjunto de contaminantes fotoquímicos que hay a nivel del suelo.

Dada la preocupación creciente por la degradación del medio ambiente urbano, la cual afecta a gran parte de la población del planeta, que se concentra cada vez más en las megalópolis, la VAM de la OMM desempeña un papel clave al coordinar las actividades relativas a la vigilancia a largo plazo del clima urbano, así como el uso de la modelización atmosférica numérica para evaluar y predecir tanto los episodios de contaminación como la política para combatirlos. Esto se hará en estrecha cooperación con la Organización Mundial de la Salud (OMS).

### **Presente y futuro de las actividades de la VAM**

En vista de todo lo expuesto, el Duodécimo Congreso Meteorológico Mundial (Ginebra, 30 de mayo a 21 de junio de 1995) indicó que se debería dar la mayor prioridad a diseñar y poner en práctica las mejoras adicionales precisas para aumentar la cobertura mundial de la VAM, la disponibilidad de sus datos y la

calidad de éstos. A este respecto, se ha diseñado y se ha puesto en práctica una estructura tripartita, de estaciones de la VAM, de Centros de Actividad Científica para Asegurar la Calidad (QA/SAC) y de Centros Mundiales de Datos (CMD), como medio de garantizar que la red de la VAM produce datos de gran calidad.

La estrategia pretende alcanzar los objetivos de asegurar la calidad en cada parámetro de la VAM (exactitud, precisión, integridad, comparabilidad y representatividad), a fin de que en las instalaciones de calibración de la VAM se arbitren normas de referencia para todos los parámetros de la VAM y se elaboren procedimientos de control de calidad para todas las estaciones de la VAM. Esto incluye: normalizar los procedimientos de actuación, alentar acuerdos bilaterales de colaboración en los que un país aporte "fraternamente" sus conocimientos a otro cuya tecnología está menos desarrollada, y organizar actividades de enseñanza y de formación profesional.

Se han celebrado ya no menos de 5 reuniones de expertos para estudiar la implantación de QA/SAC. Actualmente ya hay 3 de esos centros en distintas fases de instalación (uno para África y Europa, que lo

gestionará Alemania; otro para Asia y el Sudoeste del Pacífico, que lo gestionará Japón; y el tercero para las Américas, que lo gestionará EE. UU.). Respecto a la implantación de Centros Mundiales de Calibración (CMC) y de CMD, funcionaban desde hace ya algún tiempo varios de esos centros para medidas específicas. Sin embargo, recientemente se han añadido varios y ahora existen 12 CMC y 6 CMD.

Los CMC se han creado para los gases invernadero, el ozono, la radiación, la química de la precipitación, los gases reactivos, los aerosoles y la radioactividad. Estos CMC actúan, dependiendo de los QA/SAC, para asegurar que los datos enviados a los CMD son de calidad contrastada. Se han instaurado CMD para los aerosoles, la radiación, la turbiedad, el ozono y los rayos UV-B, los gases traza, y la química de la precipitación. Se han definido las relaciones entre los centros de datos, las relaciones entre los QA/SAC y los centros de datos, las relaciones entre los QA/SAC y los CMC, un sistema común de gestión de bases de datos, y procedimientos comunes para informar de los datos y para su distribución. Además de la sólida infraestructura mencionada, es fundamental que la VAM establezca vínculos con otras

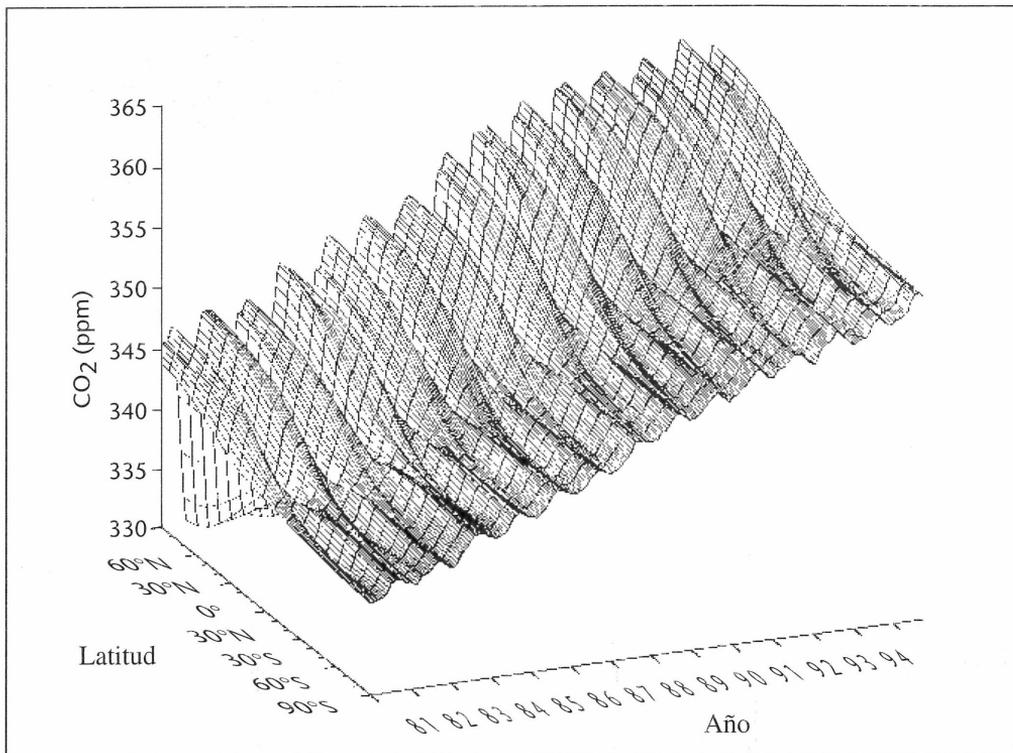


Figura 2 — Representación tridimensional de la distribución mundial del dióxido de carbono atmosférico en la capa límite marítima, suponiendo que no varía con la longitud geográfica. La superficie representa los datos (procedentes de la Red Mundial Cooperativa NOAA/CMDL de Muestreo del Aire), que se han suavizado cronológicamente y en latitud

Investigadores principales: Pieter Tans y Thomas Conway, Grupo del Ciclo del Carbono NOAA/CMDL, Boulder, Colorado

organizaciones científicas, tales como el Proyecto Internacional de la Química de la Atmósfera Mundial, del Programa Internacional Geosfera-Biosfera; la Red para la Detección de los Cambios en la Estratosfera; y el proyecto de los Procesos Estratosféricos y su Función en el Clima, del PMIC. Esos vínculos son importantes para garantizar la participación de la comunidad científica mundial en las actividades de la VAM.

Entre los intensos trabajos realizados para ampliar la cobertura de la red de la VAM, un proyecto financiado por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente ha contribuido materialmente a que se creen 6 estaciones de importancia mundial en países en desarrollo que tienen regiones climáticas o ecológicas en las que hasta ahora no había estaciones. Estas nuevas estaciones de la VAM se hallan: en el África ecuatorial (Kenia), en la región subtropical semiárida de África (Argelia), en la zona ecuatorial de Sudamérica (Brasil), en el océano subpolar austral (Argentina), en la zona centrooccidental de China y en el sudeste asiático (Indonesia). Así mismo, se crearon otras 3 estaciones mundiales, financiadas por programas nacionales de Finlandia, de Japón y otra en los Alpes, conjuntamente por Austria, Alemania y Suiza. También, para mejorar la vigilancia del ozono y de la radiación UV-B en las regiones más australes de Sudamérica se han añadido 8 nuevas estaciones para vigilar el ozono en superficie, 15 nuevas para vigilar los rayos UV-B y 9 nuevas para vigilar el ozono total. Aparte de las estaciones mundiales adicionales, varios Miembros han creado estaciones regionales como contribución suya al sistema de la VAM.

Durante la CNUMAD, se resaltaron los papeles críticos del tiempo, del clima y de otros aspectos afines en relación con el desarrollo sostenible. En la estructura de la VAM no se ha descuidado la creación de capacidades. La VAM se ha diseñado para que todos los Miembros puedan participar en potenciar las capacidades de un país a partir de sus necesidades y de sus conocimientos, de modo que cada uno de los Miembros pueda desarrollar las habilidades y la competencia necesarias para gestionar sus recursos naturales y ambientales de modo sostenible. Para ayudar, la VAM de la OMM ha organizado actividades de enseñanza y de formación profesional que se centran en la química atmosférica, disciplina relativamente joven pero técnicamente exigente cuya vitalidad es esencial para poder responder a la necesidad de la sociedad de conocer el futuro del planeta Tierra. El transferir a los países en desarrollo conocimientos académicos acerca de la química de la atmósfera y de la biosfera sigue siendo esencial para el futuro de la

VAM, por lo que ésta lleva a cabo actualmente un programa específico de formación profesional. Con la OMM están participando diversas organizaciones no gubernamentales y de investigación internacional. La idea inicial se relaciona directamente con reforzar la red de observación de la VAM. Para llevar a cabo esta actividad se están formulando acuerdos de cooperación a largo plazo con academias, con programas mundiales de investigación y vigilancia, y con sociedades profesionales, reunidos todos ellos dentro de la estructura de un Cuerpo de Voluntarios de la Enseñanza. A su vez, esto ha permitido que en universidades de países en desarrollo se constituyan programas para primeros ciclos universitarios en química atmosférica, y otros planes de estudio. Por otra parte, la formación de corta duración del personal de las nuevas estaciones de la VAM la han aportado principalmente los diversos países "hermanados". Siempre se ha alentado, y se ha apoyado en todas las ocasiones, el que se logre una formación profesional adecuada participando en reuniones y conferencias científicas.

La VAM, tal como existe hoy, representa un esfuerzo de una complejidad sin precedentes en el campo de las evaluaciones y las medidas ambientales. Es un sistema coordinado de redes de estaciones de observación, de instalaciones conexas, y de infraestructuras que incluyen las actividades de medida y de evaluaciones científicas afines dedicadas a investigar los cambios que están ocurriendo en la composición química y en las características físicas asociadas de la atmósfera mundial. En el siglo XXI, las decisiones políticas nacionales e internacionales que afecten al medio ambiente se apoyarán en gran medida en los datos científicos que se han recopilado gracias a la VAM.

Aunque todo lo que se ha mencionado representa un trabajo considerable, aún queda mucho más por hacer. Por ejemplo, en el futuro, las direcciones a

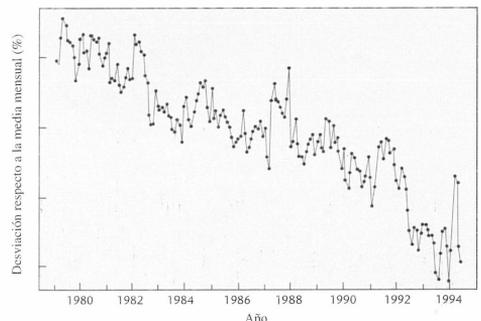


Figura 3 — Tendencias del ozono estratosférico en los dos últimos decenios, promediadas mundialmente

las que enviar los datos y con las que acceder a los mismos tendrán que adaptarse a las técnicas para informar de los datos que hayan fijado todos los Miembros de la OMM y, al mismo tiempo, hacer que los programas de la VAM avancen por medio de Internet y de las "superautopistas" de la información. Los alentadores progresos actuales han sido posibles

sólo por los compromisos y los notables trabajos de los Miembros de la OMM, así como por la estrecha colaboración entre los países en desarrollo y los países con conocimientos más avanzados en química atmosférica. Esta firme cooperación seguirá siendo la condición necesaria para que este programa tenga éxito a largo plazo. □

## EVALUACIÓN COMPLETA DEL AGUA DULCE

Por John B. MILLER\*

### Antecedentes

Existe una gran preocupación de que la creciente escasez y el mal uso del agua supongan una seria amenaza para el desarrollo sostenible, para la salud y el bienestar humanos, para el progreso industrial y para la seguridad alimentaria. Estas preocupaciones se han puesto de manifiesto desde hace mucho tiempo, como en la Conferencia del Agua de las NU (Mar del Plata, 1977), en la que se adoptó un plan de acción que incluía recomendaciones para mejorar las políticas hídricas.

La OMM organizó, como parte de los preparativos de la CNUMAD y en nombre de muchas organizaciones de las NU relacionadas con el agua, la Conferencia Internacional del Agua y el Medio Ambiente (CIAMA), en Dublín, Irlanda, en enero de 1992 (véase el informe del *Boletín de la OMM* 41 (3)). Esta conferencia de expertos designados por los gobiernos adoptó la Declaración de Dublín basada en cuatro principios:

- el agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para mantener la vida, el desarrollo y el medio ambiente;
- el desarrollo y la gestión del agua deberá basarse en un método participativo, implicando a usuarios, planificadores y gestores políticos, a todos los niveles;
- la mujer desarrolla un papel básico en la provisión, gestión y salvaguarda del agua;

- el agua tiene un valor económico en todos sus usos y competencias, y debería ser reconocida como un bien económico.

El Capítulo 18 de la Agenda 21, que es uno de los más largos, trata el tema del agua dulce.

Como parte del seguimiento de la CNUMAD, la Comisión de las NU para el desarrollo sostenible (CDS), tomó en consideración el tema del agua dulce en su segunda reunión en 1994. En la reunión de Suecia, se solicitó de los organismos del sistema de las NU que llevaran a cabo una evaluación completa de los recursos de agua dulce, con el fin de indentificar la disponibilidad de dichos recursos, realizar previsiones de las necesidades futuras e identificar los principales problemas a considerar en la reunión especial de la Asamblea General en 1997. La CDS recibió con agrado el ofrecimiento de ayuda en la evaluación por parte del gobierno de Suecia que se realizaría conjuntamente por el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo y las organizaciones de las NU con actividades en el campo del agua. La evaluación dará como resultado un informe para la Asamblea General de las NU de unas 25 a 30 páginas junto con gran cantidad de antecedentes y de documentación de apoyo, incluyendo una serie de trabajos encargados sobre aspectos específicos del tema del agua. El informe a la Asamblea General resume la labor realizada y consistirá en una introducción con la filosofía justificativa de la evaluación, un resumen ejecutivo y tres secciones básicas. La Sección I abarcará el suministro, disponibilidad y uso de los recursos mundiales de agua dulce; la Sección II avanza 30 años hasta el 2025 para prever las configuraciones probables del uso del agua dulce y de los problemas que surgirán bajo diferentes hipótesis de trabajo; y la

\* Antiguo funcionario encargado del Sistema de Hidrología Operativa para Fines Múltiples, en el Departamento de Hidrología y Recursos Hídricos de la OMM