

riesgos asociados con la variabilidad interanual de la precipitación. Se emplean una serie de opciones de gestión conservadora cuando el IOS persiste de forma fuertemente negativa y existe una alta probabilidad de precipitaciones por debajo de lo normal. Cuando el IOS persiste de forma fuertemente positiva, pueden seguirse diferentes opciones de gestión para conseguir beneficio de la mayor precipitación probable.

El servicio de previsión del clima estacional de Australia ayuda a las opciones de decisión rural y se basa en la vigilancia del sistema climático para detectar características y predecir la evolución de un episodio de El Niño. Las características que se vigilan rutinariamente son:

- La posición del centro de la convección tropical;
- La fortaleza y persistencia de los vientos del este en la superficie ecuatorial del océano Pacífico;
- La presencia, fortaleza y amplitud de las anomalías de la temperatura superficial del océano Pacífico ecuatorial; y
- La historia del IOS.

Los productos del servicio de previsión del clima estacional se dirigen a identificar las necesidades de los diferentes usuarios e incluyen el valor del IOS, el estado actual y la fase de evolución de un episodio de El Niño, si está presente, y mapas de probabilidad de precipitaciones menores que el decil 3 o mayores que el decil 7 para los próximos tres meses. También se ofrecen las probabilidades estadísticas relativas a los 105 distritos nacionales de precipitación, teniendo en cuenta las tendencias recientes de la lluvia.

La relación entre los episodios de El Niño y la precipitación en Australia oriental demuestra claramente la existencia de controles del clima a gran escala para la variabilidad interanual. Se está aprovechando el conocimiento de estos controles utilizando técnicas estadísticas. La investigación en marcha basada en los resultados del proyecto TOGA y en la modelización del sistema climático apunta a la posibilidad de modelar estos controles del clima y está conduciendo a predicciones dinámicas de las tendencias interanuales de ocurrencia de la precipitación. La disponibilidad de esas herramientas ayudará a los servicios de predicción del clima, que posteriormente servirá a la gestión de toma de decisiones y a la reducción del riesgo en el sector rural y otros sectores sensibles.

## LA CAPA DE OZONO: ULTIMOS DESCUBRIMIENTOS

Por Rumen D. Bojkov\*

Las últimas Evaluaciones Internacionales del Ozono: Informes de la OMM sobre el Ozono Nº 16 (1988), Nº 20 (1990) y Nº 25 (1991), y los últimos estudios incorporados a la evaluación de 1994 han demostrado que, desde comienzos de los años 1970, ha habido disminuciones significativas del ozono total a lo largo del año en las latitudes medias y polares de ambos hemisferios. Después de tener en cuenta la variabilidad natural conocida (ciclos anual y solar, el episodio de El Niño/ Oscilación del Sur, la Oscilación Cuasibienal (OCB)), el promedio de la disminución de ozono total es casi del 3 por 100 por decenio. Es mucho mayor durante la primavera antártica y el invierno septentrional.

Durante el período 1970-1993, la disminución del ozono en las latitudes medias septentrionales (40-60° N) fue de un -3 por 100 por decenio. Llegó hasta el -4,5 por 100 en invierno

y primavera y fue algo menor del -2 por 100 en verano. Hay menos datos en el Ártico pero muestran una disminución de un 1 a un 2 por 100 mayor. Para las mismas latitudes, la disminución es mayor durante los últimos quince años que durante la primera parte del período. Supera el -6,5 por 100 en el invierno y primavera y el -3 por 100 en verano. En el cinturón tropical también hay una pérdida de ozono de un 1 por 100 por decenio, pero no es estadísticamente significativa.

En las latitudes medias del hemisferio sur, la disminución de ozono es sólo ligeramente mayor que en el hemisferio norte. Sin embargo, en las regiones polares del sur, donde el agujero de ozono aparece en primavera, la disminución es notable: superó el -25 por 100 por decenio durante las primaveras (septiembre, octubre y noviembre) de los últimos 15 años. Durante el verano es más pequeña, un -4 por 100.

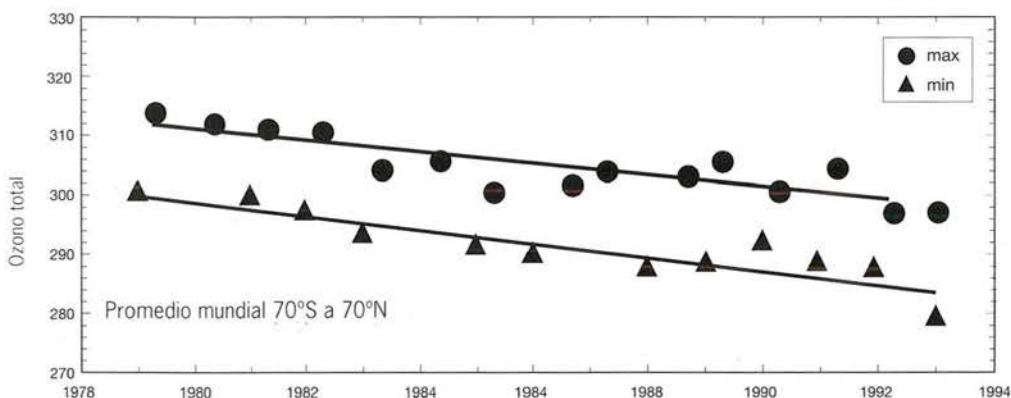


Figura 1 — Los cambios en la cantidad de ozono (m atm cm) para la superficie distribuida entre los 70° S y los 70° N calculando el promedio en el máximo estacional y en el mínimo para el período 1979 a 1993, indicando un descenso mayor del ozono durante los meses con ozono bajo (fuente: Herman y Larko, *Journal of Geophysical Research*, 1993).

En la figura 1 vemos una excelente ilustración de las variaciones del ozono, entre los 70° N y los 70° S, en los meses de ozono máximo y ozono mínimo de los últimos 15 años. El promedio mundial (excluida la región del agujero de ozono) es una disminución del ozono, durante los meses con valores máximos, de cerca de un -3 por 100 y con valores mínimos de un -4 por 100, por decenio, durante los últimos 15 años.

La mayor disminución de ozono se observa en la baja estratosfera, entre los 14 y 20 km en las latitudes medias, donde, durante los últimos 25 años, ha sido de un -6 por 100 por decenio. En la estratosfera superior la disminución es de una magnitud similar y está relacionada principalmente con la destrucción química del gas cloro. Al mismo tiempo, las pruebas que proporcionan las observaciones indican que, en el hemisferio norte, las concentraciones de ozono en la troposfera (hasta unos 10 km aproximadamente), sólo han aumentado en algo más del 10 por 100 por decenio. Debe indicarse, sin embargo, que el ozono troposférico comprende sólo un 10 por 100 del ozono de la columna total y podría así compensar únicamente una pequeña fracción de la disminución del ozono estratosférico. Su aumento, sin embargo, contribuye al calentamiento superficial de una manera similar al de los demás gases de efecto invernadero durante el mismo período.

La drástica disminución del ozono total sobre la Antártida durante la primavera austral, desde finales de los años 1970, es la prueba más palpable de la influencia antropogénica (ver figura 2). Los análisis completos de los datos de observación complementados con los estudios de laboratorio y de modelización indican que la causa del fenómeno del "agujero de ozono" es la emisión de cloro y bromo provenientes de los compuestos químicos fabricados

por el hombre tales como los clorofluorocarburos (CFC) y los halones. La presencia de estos compuestos unida a las especiales condiciones únicas de la primavera antártica (el vórtice de la circulación atmosférica circumpolar impide que haya importantes intercambios meridianos norte-sur, ayudando así a la aparición de unas temperaturas estratosféricas extremadamente bajas, por debajo de los -80° C, y a la formación de nubes estratosféricas), crean una situación que conduce a la rápida destrucción del ozono mediante una serie de reacciones heterogéneas durante la primavera austral. La presencia de aerosoles volcánicos tras erupciones importantes tales como la de El Chichón, en 1982, y la del Pinatubo, en 1991, se cree que contribuye también al proceso de la destrucción del ozono.



Figura 2 — Las desviaciones del ozono en la Antártida (Faraday, Syowa, Halley Bay, Polo Sur) respecto del promedio de la época anterior al agujero de ozono (1957-1978) (Bojkov, 1994)

En los meses de septiembre y octubre de seis de los últimos siete años, la destrucción del ozono fue más intensa: hasta el 60–70 por 100 de los promedios de 1957–1978, previos al agujero de ozono. Estos fueron registrados tanto por estaciones de tierra como por satélites. El contenido local de ozono, en la capa entre los 14 y los 18 km, se redujo en más del 80 por 100 durante una semana o dos a finales de los años 1980. Durante los últimos dos años, en la misma capa, desapareció totalmente el ozono durante cuatro a seis semanas. Esto se muestra en la figura 3, que ofrece los sondeos de ozono hechos en la estación japonesa de Syowa, en octubre de 1993. La gráfica es la misma que la de los sondeos de ozono en Neumayer y en Marambio. También se ha dibujado, con fines comparativos, el perfil normal de ozono deducido de los sondeos realizados antes de los años 1980. Las temperaturas en la capa más afectada estuvieron por debajo de lo normal (en algunos días por debajo de  $-80^{\circ}\text{C}$ ), lo que facilita los procesos de destrucción del ozono.

Durante las dos últimas primaveras australes, los niveles de ozono total fueron excepcionalmente bajos. En 1992, el agujero de ozono apareció mucho antes, en la segunda mitad de agosto. A finales de septiembre de 1992, alcanzó su mayor superficie de cerca de 24 millones de  $\text{km}^2$ , y en octubre se registraron los valores de ozono más bajos observados hasta entonces, de casi 110 m atm cm (comparados con los 330–350 m atm cm de promedio para octubre de los años anteriores al agujero de ozono).

En 1993, el agujero de ozono apareció incluso una semana antes que en el anterior registro extremo de 1992. Hasta finales de agosto, en las zonas de la Antártida iluminada por el sol, el ozono total bajó desde 310 m atm cm, normal para finales de julio, hasta cerca de 200 m atm cm, e incluso más por debajo: una disminución de alrededor del 35 por 100. La rápida destrucción del ozono continuó en septiembre. Enormes regiones con valores de ozono menores de 150 m atm cm, aparecieron ya a mediados de septiembre y fueron dominantes sobre todo el continente durante un largo período sin precedentes, hasta el final de octubre. Durante más de seis semanas, se observó una deficiencia de más del 60 por 100 en la zona central de la Antártida, sobre una superficie mayor que toda Europa. Los valores extremadamente bajos de 1992 se superaron y se observó un nuevo mínimo absoluto tanto para septiembre como para octubre. Todas las estaciones terrestres, así como los satélites, registraron sus valores mínimos absolutos, los cuales en algunas ocasiones estuvieron, por primera vez, por debajo de los 100 m atm cm (por ejemplo, 86 y 81 m atm cm los días 4 y

5 de octubre en el Polo Sur; y 97 m atm cm desde el 15 al 17 de octubre en Halley Bay).

En relación con el tamaño de la superficie cubierta por el agujero de ozono (valores menores de 220 m atm cm) en 1993, se alcanzó el máximo durante los últimos diez días de septiembre —muy cercano a los 24 millones de  $\text{km}^2$  de 1992— pero se superó el registro del año anterior en la segunda mitad de octubre y noviembre. La figura 4 muestra la superficie cubierta por el agujero de ozono durante los últimos dos años, así como el promedio de la superficie de todos los años anteriores y demuestra la enorme destrucción de ozono observada últimamente. Debe resaltarse que, a finales de septiembre de 1993, durante dos días, como el 4 y el 5 de octubre de 1992, el agujero de ozono llegó a cubrir el extremo más meridional de América del Sur donde, sobre zonas pobladas, descendió el ozono hasta unos 210 m atm cm.

Como ya se informó en el *Boletín de la OMM* 42 (3), las estaciones de invierno y primavera de 1991/1992 y 1992/1993 en el hemisferio norte, tuvieron los valores de ozono más bajos desde que comenzó la recopilación regular de datos del Sistema Mundial de Observación del Ozono

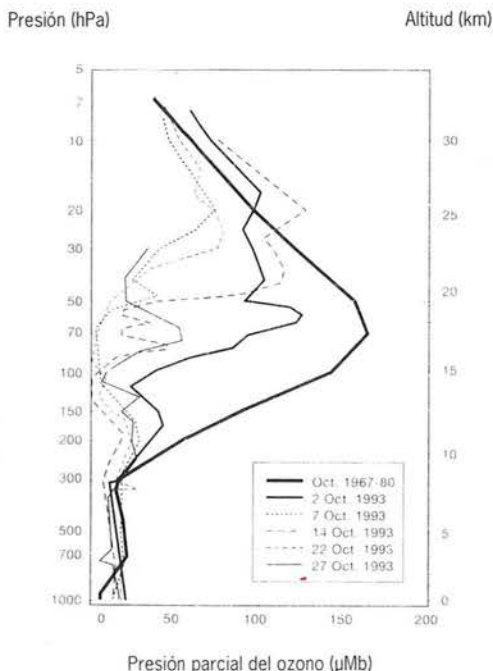


Figura 3 — Los perfiles verticales del ozono en Syowa ( $60^{\circ}\text{S}$ ) en octubre de 1993, ilustran la destrucción del ozono en la baja estratosfera. También se muestra, con fines comparativos, el perfil medio de ozono de los años anteriores al agujero de ozono (1967–1980) (fuente: Ito, JMA, Tokio)

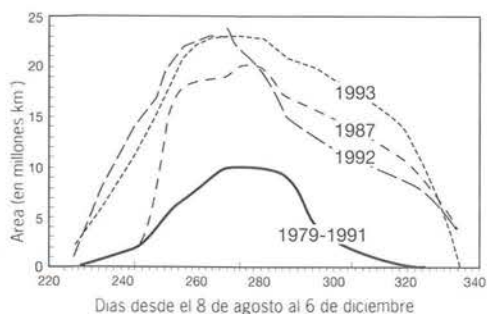


Figura 4 — Los datos de los satélites TOMS y TOVS muestran que la mayor superficie con agujero de ozono se alcanzó en 1992 y en 1993; el agujero de ozono de 1987 es, hasta la fecha, el tercero en magnitud

(SMO<sub>03</sub>) en 1957. Sobre la mayoría de las latitudes medias y hasta el círculo polar de América del Norte, en Europa desde el Atlántico a los Montes Urales y sobre Siberia, el promedio mensual de disminución del ozono varió del 10 al 25 por 100, con algunas estaciones particulares que informaron de episodios de un único día con el 35 al 40 por 100 por debajo de sus valores normales de larga duración. Aunque estos nuevos mínimos de los valores del ozono representan un importante descenso, rara vez estuvieron por debajo de 240 m atm cm, en marzo la mayoría superó los 300 m atm cm: en consecuencia no hubo agujero de ozono sobre el Ártico.

La razón principal de las disminuciones de ozono durante 1992 y 1993 se halla en la presencia de compuestos de cloro y bromo de origen antropogénico, lo que se deduce de las medidas de los satélites UARS. Sin embargo, debe resaltarse que durante estos años se observó un desplazamiento en los vientos estratosféricos ecuatoriales de los este a los oeste (OCB), el cual, como se sabe por estudios anteriores, está relacionado con los cambios en el transporte atmosférico desde el ecuador y con disminuciones del ozono del 7 al 8 por 100 en las latitudes me-

dias. Además, durante estos dos años, el fenómeno de El Niño afectó al transporte del ozono desde el cinturón ecuatorial de una manera similar a como lo hizo el desplazamiento a la fase de los oeste de la OCB, aunque con un efecto mucho menor sobre el ozono. Hubo una situación análoga en 1982/1983, cuando la disminución del ozono se atribuyó erróneamente por algunos a la erupción de El Chichón. El efecto directo de este último ha sido evaluado objetivamente en casi un -2 a -3 por 100. Los cálculos de los modelos muestran que la erupción del volcán Pinatubo es probablemente similar, y la carga de sus aerosoles en la estratosfera durante 1993 llegó a ser insignificante. Lo específico de la circulación estratosférica y el efecto añadido de los aerosoles volcánicos pueden explicar sólo parte de las deficiencias de ozono, dejando el resto a los procesos de destrucción química del ozono.

Durante el invierno y primavera actuales de 1993/1994, los valores del ozono sobre el hemisferio norte eran próximos a los normales. No obstante, la disminución acumulativa del ozono desde principios de los años 1970 para esta estación es casi de un 14 por 100. Una causa más de preocupación es que las concentraciones de cloro libre van a incrementarse en la estratosfera hasta finales de este siglo al menos en 4 ppbv. En consecuencia, se espera que se observarán deficiencias similares del ozono en el próximo decenio. La conformidad con las disposiciones corroboradas por el Protocolo de Montreal para limitar la producción y el uso de compuestos químicos destructores del ozono es, por consiguiente, un deber de cada país para que se logre la recuperación completa de la capa de ozono hacia la segunda mitad del próximo siglo. Hasta entonces, se hace necesario un reforzamiento del Sistema Mundial de Observación del Ozono para asegurar la provisión continua de la información indispensable sobre el estado de la capa de ozono.

## LOS INCENDIOS DE NUEVA GALES DEL SUR DE ENERO DE 1994

Por Patrick SULLIVAN\* y Bruce BUCKLEY\*

Del 27 de diciembre de 1993 al 14 de enero de 1994 los incendios forestales asolaron la franja costera de Nueva Gales del Sur (NGS), Austra-

lia. En su punto máximo, el fuego se extendió por casi la totalidad de los 1 100 kilómetros de la costa de NGS y Sydney, la más populosa ciu-

\* Oficina de Nueva Gales del Sur del Departamento de Meteorología de Australia, Sydney