

nado, el nivel de energía también se puede ajustar en función de la luz natural disponible, lo que produce una iluminación equilibrada y constante a menor costo. De todas formas, los ocupantes pueden ajustar la luz a su conveniencia, a través de un sistema incorporado al circuito telefónico. Las lámparas son también de bajo consumo y aunque su precio de compra es mayor, se compensa rápidamente gracias a su menor costo de consumo.

Los profundos cimientos del edificio se han diseñado para protegerlo contra movimientos sísmicos. Todo el edificio cumple con las estrictas normas de seguridad, y se ha instalado un complejo sistema de aspersores y alarmas por todo él.

El ambiente de trabajo

66

La OMM ocupa cinco de las siete plantas de oficinas. Todas las oficinas pueden acondicionarse según las necesidades. En el centro de cada planta hay un gran espacio común. Las zonas de trabajo constituyen el 70% del espacio total, y otras instalaciones como salas de conferencia y oficinas para personal ad hoc.

La planta baja consta de una sala de conferencias para 260 personas, una sala para seminarios para 60 personas y salones de recepción y oficinas. También hay una sala para conferencias de prensa, equipos para

Una oficina característica adaptada a las necesidades de su ocupante (Foto: Jean-Claude Brutsch)



videoconferencia, una cabina de radio, equipos de edición audiovisual y líneas RDSI para los medios de comunicación y los servicios de información al público y espacios para exposiciones.

En el primer piso se encuentran la biblioteca, la imprenta, salas para seminarios y las instalaciones de los servicios de secretaría e interpretación. En el sótano están los archivos y los almacenes, además de un salón de usos múltiples. El garaje subterráneo consta de cinco niveles y tiene capacidad para unos 350 vehículos. Es independiente del edificio principal, pero está unido a él por el sistema de ventilación.

Encima de todo esto, en la novena planta, están el restaurante y la cafetería con una terraza a cada lado y vistas panorámicas al lago y a la ciudad. □

Incertidumbres de las series de datos climáticos — un reto para la OMM



Chris FOLLAND, Povl FRICH, Tracy BASNETT, Nick RAYNER, David PARKER y Briony HORTON*

Introducción

Hace cien años con motivo de la celebración del estado de la meteorología al finalizar el siglo XIX se publicó un Atlas Meteorológico magníficamente realizado (Bartholemew y Herbertson, 1899). En su introducción, el

Este artículo está basado en una Conferencia Científica pronunciada por invitación el 21 de mayo de 1999 durante el Decimotercer Congreso Meteorológico Mundial.

gran climatólogo escocés, Alexander Buchan, dice "resulta evidente que la meteorología proporcionará muchos más beneficios de lo que ahora resulta posible cuando la red de estaciones se extienda a lo largo de las regiones en las que ahora no existe ninguna, o sobre las que ahora existen tan pocas

que no resultan suficientes para dar una adecuada representación de la meteorología de dichas regio-

* Centro Hadley, Oficina Meteorológica del Reino Unido, Bracknell, Reino Unido

nes". Queremos demostrar que, a pesar de los grandes progresos, cuando está finalizando el siglo XX todavía son numerosas las redes climáticas que sufren problemas similares. Los problemas radican en unas serias limitaciones en el acceso digital a, y en el intercambio de, aquellos datos climáticos que son medidos. A diferencia del año 1899, en 1999 existe una nueva urgencia: la inminente probabilidad de un importante cambio climático, tal como indica el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 1996).

Trabajos recientes sobre los cambios de la temperatura

La Figura 1 es una reconstrucción recientemente publicada de los cambios de la temperatura en el hemisferio norte y sus incertidumbres utilizando datos paleoclimáticos (Mann y otros, 1999). Los datos paleoclimáticos se calibraron utilizando datos instrumentales desde finales del siglo XIX, los cuales se añadieron al final de las series. Mann y otros (1998) proporcionan más detalles sobre la reconstrucción del clima del último milenio. Resulta interesante la figura resultante de un lento enfriamiento a largo plazo a lo largo de la mayoría de los últimos 1 000 años, aunque con fluctuaciones, que finalizó súbitamente a mediados del siglo XIX, seguido de un ritmo de calentamiento sin precedentes durante el sigl XX. Dicho calentamiento se ha producido principalmente durante dos periodos: a lo largo de la primera parte

del siglo XX y durante los últimos 25 años. Resulta que 1998 puede haber sido el año más cálido en el hemisferio norte desde AD 1000 y que la década de los 90 haya resultado la más cálida. (Los últimos datos de 1999 disponibles a la hora de escribir este artículo parecen confirmar ambas afirmaciones). Hasta donde podemos alcanzar, la configuración para el globo resulta similar, donde los 10 años más cálidos correspondientes a los registros instrumentales desde 1860 han tenido lugar a partir de 1983, siete de ellos en la década de los 90.

Los problemas de datos en el contexto del cambio climático

Las cuestiones importantes —que requieren datos adecuados— que están siendo estudiadas para el Tercer Informe de Evaluación del IPCC del 2001 incluyen:

- ¿Se está calentando el clima?
- ¿Está cambiando la intensidad del ciclo hidrológico?
- ¿Está cambiando la circulación atmosférica u oceánica?
- ¿Resulta que el clima es cada vez más variable o más extremo, especialmente en lo que respecta a las olas de calor, las tormentas, inundaciones y las sequías?
- ¿Podemos detectar con más seguridad las influencias antropogénicas en los registros del clima, identificadas a título provisional en el informe del IPCC de 1995?

67

Aunque las redes de datos climáticos para el control de la variabilidad del clima y para la detección del cambio climático deben funcionar conjuntamente con las redes destinadas a la predicción del tiempo, demostraremos que la disponibilidad de los datos de las redes climáticas dista mucho de ser suficiente para satisfacer las necesidades antes citadas. Karl y otros (1995) dan una visión general de estos problemas.

En la Figura 2 aparece una muestra de los

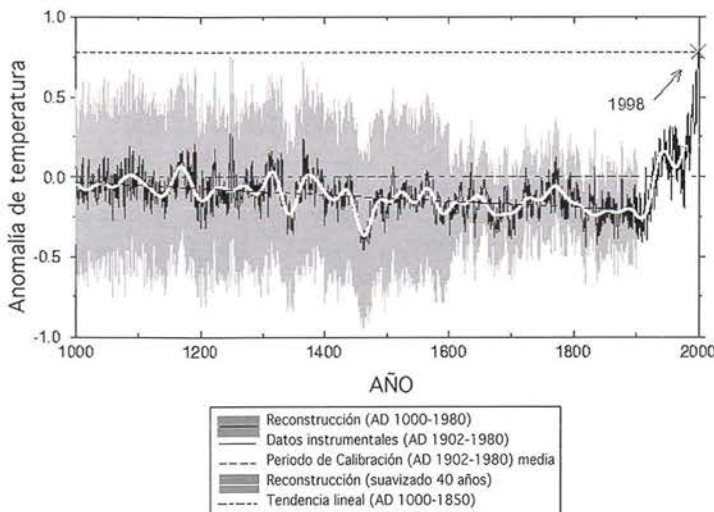


Figura 1 — Reconstrucción de la paleo — temperatura del hemisferio norte desde 1000, con los datos instrumentales del siglo XX. Las regiones sombreadas representan los límites de los dos errores estándar en los valores anuales reconstruidos antes de la era instrumental (hasta 1901) usando varios tipos de aproximación de datos (Mann y otros, 1998; 1999)

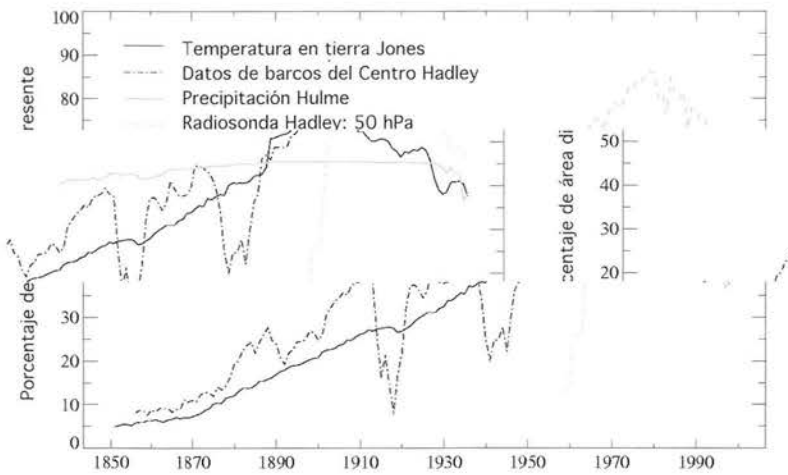


Figura 2 — Cambios en la cobertura espacial de tipos de datos seleccionados por su importancia en los estudios sobre el cambio climático. El área disponible es, p.ej. tierra global para precipitación, océano global para datos de temperatura de la superficie del mar o atmósfera global para datos de radiosondas.

68

cambios en la cobertura de los datos de algunas de las redes climáticas clave a lo largo del último siglo. La impresión general es de un crecimiento estable de la cobertura espacial de los datos disponibles, tal como aparece en el eje de la izquierda, aproximadamente hasta los últimos 20 años, cuando por desgracia la

mayoría de las redes muestran un declive. Esto resulta especialmente evidente en la red de radiosondas. El reciente descenso de la cobertura de datos, evidente en la Figura 2, está en desacuerdo con los Artículos 4 y 5 de la Convención Marco de las UN sobre Cambio Climático (PNUD, 1998). El nivel hasta el que logremos alcanzar acuerdos internacionales que satisfagan los requerimientos afectará directamente a la capa-

cidad del IPCC de proporcionar asesoramiento a los gobiernos, especialmente en lo referente al control, detección, y determinación del cambio climático y evaluación de los modelos que predigan el clima futuro. Así mismo, afecta a la capacidad del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas de incremen-

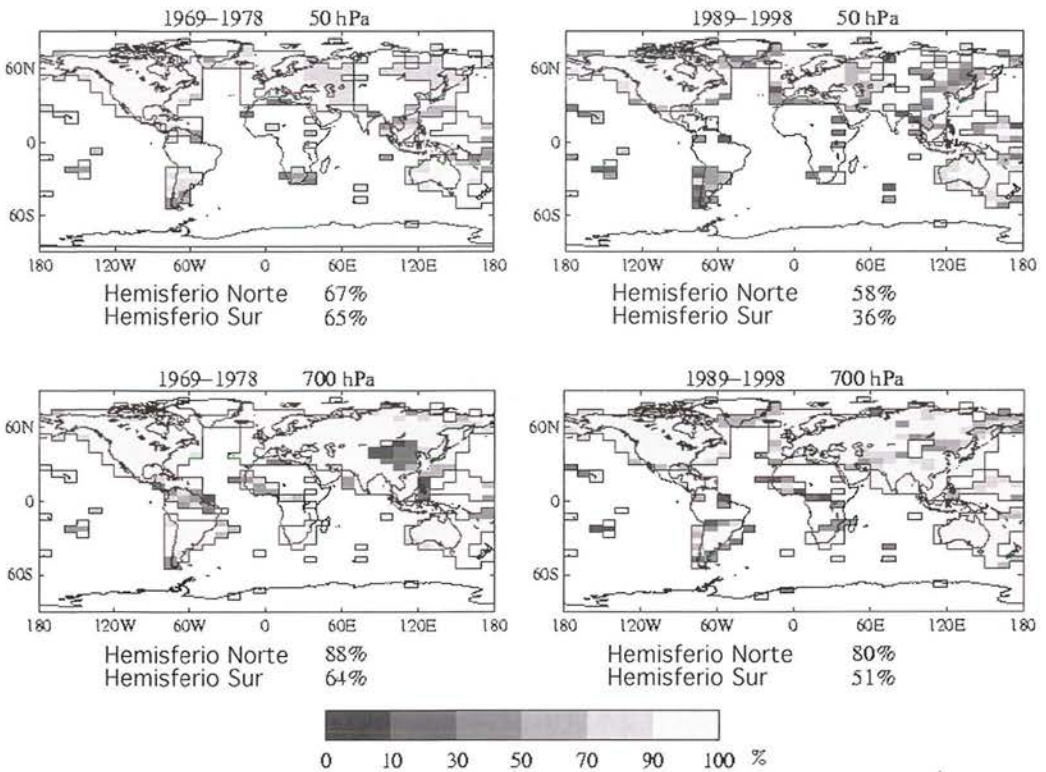


Figura 3 — Porcentaje de cobertura espacial de los datos de temperatura de radiosondas (Parker y otros, 1997) en las décadas 1969-1978 y 1989-1998 para valores anuales medios. Para que se represente un año deben estar disponibles ocho meses o más. El mapa muestra el porcentaje de años disponible en cada década.

tar nuestro entendimiento sobre el cambio climático.

Ahora resulta oportuno mencionar los datos procedentes de los satélites. Aunque son numerosos los tipos de datos procedentes de satélites que resultan potencialmente útiles para los estudios del clima, en general para la evaluación del cambio climático aun no pueden reemplazar a los tradicionales datos procedentes de bases en tierra. Tienen la posibilidad de rellenar lagunas, con frecuencia mezclándolos con datos in situ, pero deben de calibrarse frente a datos in situ para que haya homogeneidad con los datos pasados. Desgraciadamente, muchos datos de satélites tienen desviaciones temporales que al menos resultan tan graves que las de los datos procedentes de bases terrestres. Por ello han mostrado bastante dificultades para su utilización en los estudios del cambio climático, a pesar de los grandes esfuerzos realizados por los climatólogos.

Ahora presentaremos algunos problemas y expectativas para los análisis del cambio climático, en especial mediante la utilización de las redes de temperatura de radiosondas y de superficie. La Figura 3 muestra la cobertura espacial de los datos de temperatura de los radiosondas a 50 hPa y 700 hPa para dos décadas concretas utilizando las series de datos de radiosondeos del Centro Hadley (Parker y otros., 1997). Pueden observarse importantes lagunas de datos en el hemisferio sur y sobre los océanos. Esto hace que la evaluación y la detección del cambio climático en la troposfera y en la baja estratosfera resulte particularmente difícil. Las lagunas de datos resultan igual de grandes en la década más reciente que en la primera década que se muestra. Recientemente, la OMM ha diseñado una Red Mundial de Altura (GUAN), del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC). Si se desarrolla en su totalidad, la red GUAN permitirá unas medidas adecuadas de la variabilidad y del cambio del clima en escalas espaciales más amplias, utilizando radiosondas. La capacidad de la GUAN para representar la atmósfera sobre, digamos, promedios estacionales o anuales, será un tanto mayor que para meses o periodos más cortos, ya que las zonas con estaciones representativas serán más extensas. Sin embargo, necesitamos mantener estacio-

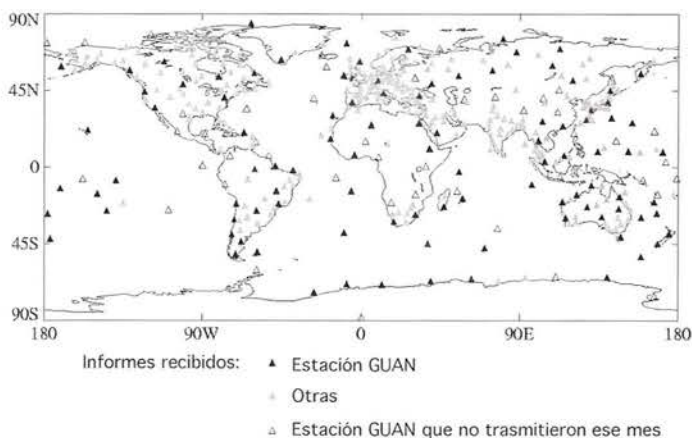


Figura 4 — Estaciones de radiosondas que transmitieron temperatura a través del Sistema mundial de Telecomunicaciones por medio de mensajes CLIMAT TEMP en febrero de 1999, comparados con la distribución de las estaciones GUAN. Las actualizaciones de este mapa están disponibles en <http://www.met-office.gov.uk/>.

nes adicionales si queremos tener una imagen detallada de la temperatura y de la humedad atmosféricas sobre una escala regional espacial.

La Figura 4 muestra las estaciones de radiosonda que transmitieron la temperatura mensual a través del Sistema Mundial de Telecomunicación en febrero de 1999. Resalta las estaciones que figuran actualmente

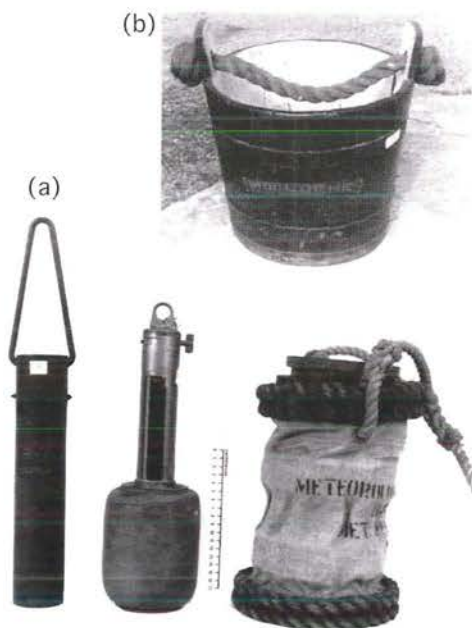


Figura 5 — Cuatro tipos de cubos utilizados para recoger agua del mar para medir su temperatura en la cubierta de los barcos: (a) (de izquierda a derecha) cubos teimo - aislado negro REF 1800 del Met Office de Reino Unido, cubo de metal y cuero alemán, cubo de lona del Met Office de Reino Unido; y (b) cubo de madera, 1891 (cortesía del Museo Marítimo de Escocia).

en la red GUAN (mediados de 1999) y que no transmitieron el citado mes, aunque es posible que algunas estaciones no existieran entonces, otras simplemente no transmitieron o no fueron recibidas en el Centro Hadley. En los trópicos puede verse una concentración de pérdida de estaciones GUAN. Si todas las estaciones de la red GUAN transmitiesen con regularidad, podríamos tener una buena imagen de los cambios del clima en la atmósfera tropical y una imagen razonable de otras zonas. Así pues, resulta importante que las naciones concentren sus esfuerzos para lograr que la red GUAN funcione satisfactoriamente dado que los radiosondeos pueden suministrar datos cruciales para la detección del cambio climático, tal como demuestra el Segundo Informe de Evaluación del IPCC de 1995.

Ahora pasamos a ocuparnos de las temperaturas de la superficie terrestre, del aire y de las temperaturas de la superficie del mar (SST). Incluso para los promedios climáticos decenales, donde podemos permitirnos unas pérdidas sustanciales de datos, algunas partes de África y algunas zonas oceánicas todavía no disponen de datos suficientes para estimar ningún cambio climático. Incluso con los datos disponibles, aun existe una significativa incertidumbre en las observaciones, dada la diversidad de métodos con que éstas se han realizado a lo largo del último siglo y medio.

La utilización de los datos de la SST resulta bastante difícil. Esto se refleja en la Figura 5 (adaptada de Folland y Parker, 1995) por unos pocos de los distintos métodos de recoger el agua del mar que se han utilizado durante los últimos 100 años con el fin de medir su temperatura. La Figura 5(a) muestra un cubo termoaislado utilizado por el Reino Unido en décadas recientes, un cubo semi-termoaislado utilizado en Europa y un cubo de lona sin aislamiento utilizado por el Reino Unido. La Figura 5(b) muestra un cubo de madera del tipo que se utilizaba frecuentemente para recoger el agua del mar en el siglo XIX. El principal problema en el pasado era la pérdida de calor del agua del mar debido a la evaporación a través de las paredes de los cubos sin aislamiento, mientras que se realizaba la medida. Este problema resultaba mínimo en el cubo aislado, mayor en el recipiente de lona e intermedio en el cubo de madera. Todo esto llevó a unas desviaciones variables temporales y geográficas de los datos originales de la temperatura del mar. Las mediciones modernas de alguna manera también resultan heterogéneas y los correspondientes problemas aun no están solucionados por completo.

La Figura 6(a) muestra las correcciones típicas (en su mayoría positivas) aplicadas por el IPCC a los primeros datos de la SST (Folland y Parker, 1995), basadas fundamentalmente en modelos físicos del intercambio de calor de los cubos con el medio ambiente. Las correcciones variables espaciales para el mes de diciembre de 1940 alcanzan casi 1°C en unos pocos lugares de la parte oriental de los continentes del hemisferio norte. Las correcciones varían según la estación y a través del tiempo hasta 1942, fecha a partir de la cual por lo general dejan de aplicarse. Estas extensas correcciones fueron el resultado de un sistema de control que no estaba, y aun no está, adecuadamente diseñado para controlar el cambio climático. La necesidad de correcciones adicionales, aunque más pequeñas, de los datos modernos de la SST aun tienen que investigarse a fondo aunque ya vienen indicadas en los resultados de Folland y otros. (1993).

La Figura 6(b) muestra las desviaciones de los datos de la SST procedentes de los satélites de órbita polar correspondientes a las décadas de los 80 y los 90 (p. ej. Reynolds y otros, 1989; Reynolds, 1993). Aquí comparamos los promedios globales de los datos de buques y boyas con los datos de los satélites; en este período, consideramos que los datos in situ resultaron razonablemente homogéneos en comparación con los datos de los satélites. Estos últimos se vieron gravemente afectados por los aerosoles estratosféricos procedentes de las erupciones de El Chichón a principios de los 80 y del Pinatubo a principio de los 90 que provocaron desviaciones de la SST hacia valores demasiado bajos, a parte de que hubiera otras desviaciones. Estas mediciones procedentes de los satélites —así como las mediciones desde la superficie— no han sido concebidas adecuadamente para el control o la detección del cambio climático. Incluso ahora está resultando difícil corregir adecuadamente los datos de la temperatura de la superficie del mar procedentes de los satélites, a pesar de los muchos esfuerzos que se están realizando. También existen problemas de homogeneidad bastante serios relativos a la mezcla de los datos del hielo del mar disponibles in situ y procedentes de satélites, los cuales se están investigando en la actualidad por uno de los autores.

Igualmente, problemas algo menos serios referentes a la falta de homogeneidad afectan a los datos de la temperatura en tierra (p. ej. Parker, 1994). Las desviaciones en el pasado debidas a los diferentes tipos de termómetros permanecen insuficientemente investigadas.

Recientemente, los Miembros de la OMM han acordado cuales de sus estaciones terrestres formarán

parte de la Red Terrestre del SMOC (RTS). El diseño inicial de la RTS se ha realizado con sumo cuidado y está descrito por Peterson y otros (1997). En la Figura 7 aparece la distribución de todas las estaciones terrestres CLIMAT que informan mensualmente; los triángulos resaltados señalan las estaciones RTS que aún no estaban operativas o de las que no se recibió un número razonable de partes completos durante el período 1991-1998. Existe una gran concentración de estas estaciones en los trópicos. Cuando la red RTS fue diseñada, las lagunas de datos en los trópicos fueron particularmente señaladas. Si todas las estaciones RTS de los trópicos transmitiesen con regularidad (y algunas de estas estaciones es posible que estén transmitiendo en la actualidad), dispondríamos de una buena representación de la temperatura en tierra prácticamente en todo el mundo en extensas escalas espaciales regionales. Así pues, resulta importante implantar por completo la red RTS. En la creación de

la RTS, se insta a los Miembros de la OMM a tomar a las estaciones RTS como patrón para desarrollar y perfeccionar unas redes climatológicas nacionales de referencia más densas que resultan necesarias para estudiar el cambio climático a escalas nacional y regional. Igualmente importante, las estaciones RTS también facilitarán la ejecución del proyecto de la OMM Servicios de Información y Predicción del Clima (CLIPS).

La necesidad de los datos diarios para controlar el cambio de los valores extremos

Una razón principal por la que un calentamiento esperado del clima de unos pocos grados Celsius sobre tierra durante el siglo XXI es importante es que afecta a los valores extremos. La Figura 8 muestra como un cambio aparentemente pequeño en la media resulta importante. Nos concentramos en las distribu-

ciones diarias dado que con frecuencia éstas son las que resultan ecológicamente más sensibles, pero las conclusiones sobre los períodos de retorno son incluso más fuertes para los valores medios mensuales. En la Figura 8, curva B, hemos añadido artificialmente 2°C a la distribución de la frecuencia de la temperatura máxima diaria de agosto en el centro de Inglaterra durante el período 1961-1990 (Parker y otros., 1992), manteniendo igual la forma de la distribución. Los cambios que esto supone en los períodos de retorno de la temperatura diaria más cálida aparecen listados en la tabla opuesta. Los períodos de retorno de los extremos cálidos se reducen a un tercio, dando extremos más frecuentes que los valores normales de hoy. En la Figura 8, curva C, mos-

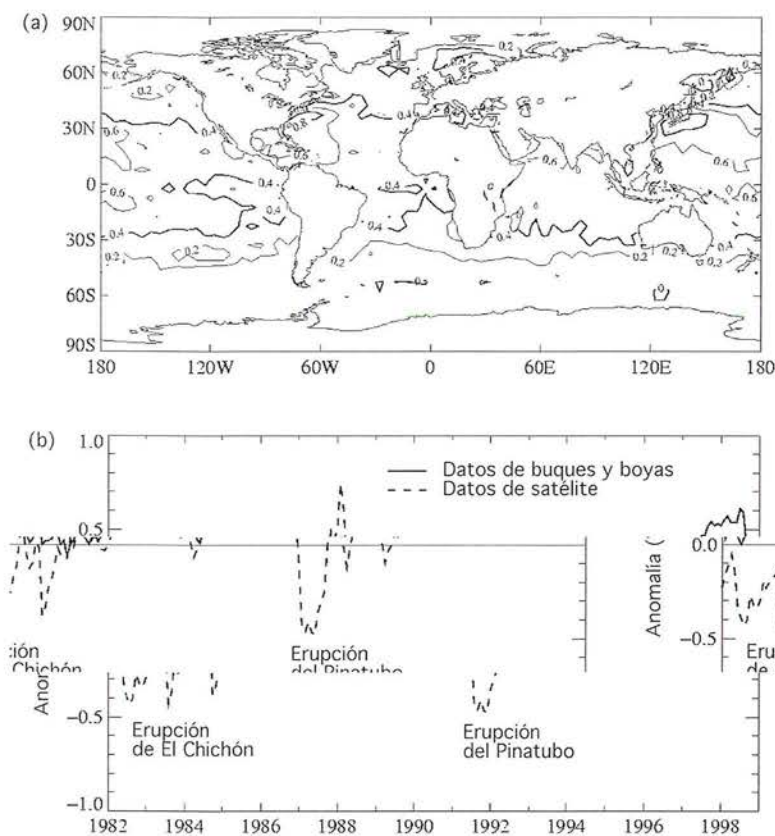


Figura 6 — (a) correcciones aplicadas a los datos in situ de temperatura de la superficie del mar en diferentes partes del mundo para diciembre de 1940 (isopletas cada 0,2 °C alternan con isopletas más pesadas) (Follan y Parker 1995); (b) datos mundiales medios de temperatura de la superficie del mar obtenidos de satélites comparados con datos in situ durante el período 1982-1998. Las diferencias son debidas principalmente a desviaciones temporales en los datos de satélites

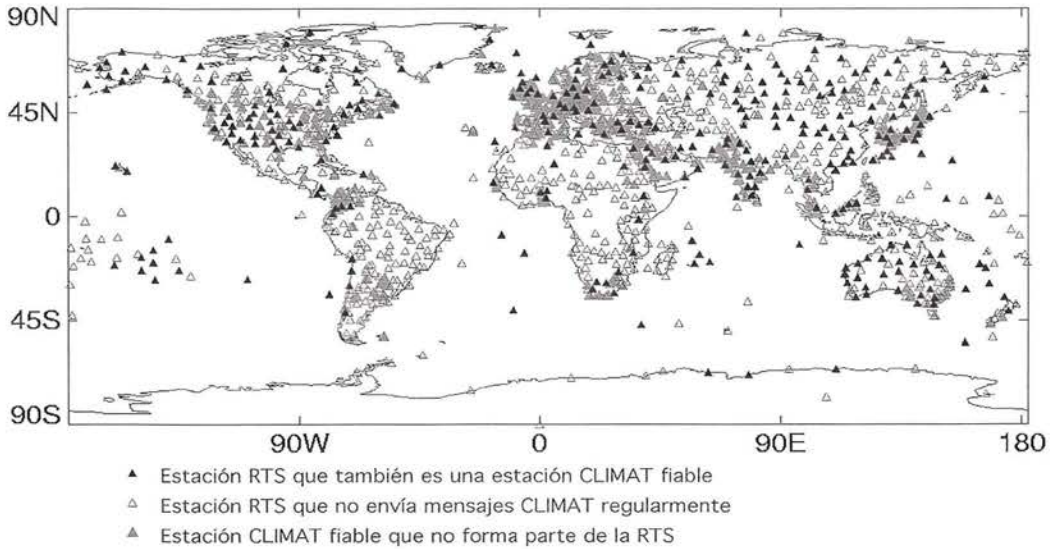


Figura 7 — Recepción de datos de las estaciones CLIMAT actualmente fiables (las estaciones CLIMAT fiables tienen al menos el 90% de los datos posibles entre 1991 y 1998) y las nuevas estaciones RTS. Este mapa actualizado está disponible en: <http://www.met-office.gov.uk>.

tramos las posibles consecuencias de un cambio razonable en la forma de esta distribución de frecuencia, manteniendo un calentamiento medio de 2°C. Vemos que el 25% de los agostos más fríos del período 1878-1998, del que hay disponibles datos diarios, tienen una distribución más ajustada de la temperatura diaria que el 25% de los agostos más cálidos (que no aparecen). Esto se debe a que los agostos fríos tienen aire procedente principalmente del Atlántico, mientras que los agostos cálidos aunque también tienen algo de estos flujos fríos, tienen una mayor frecuencia de flujo procedente del continente cálido.

En un clima futuro más cálido, en líneas generales parece razonable un cambio medio similar hacia una distribución diaria más amplia: durante el próximo siglo, el aire procedente de Europa se espera que se caliente con una rapidez más apreciable que el procedente del Atlántico, incluso si la frecuencia de las direcciones de los flujos de aire cambia poco. En la Figura 8, curva C, aparece el efecto de añadir 2°C al promedio correspondiente a 1961-1990 pero incrementando la desviación normal de la temperatura máxima diaria de agosto. Tal como se observa en la tabla, esto lleva a una reducción aún más drástica de las estimaciones del período de retorno para los días muy cálidos.

Karl y Knight (1998) han demostrado recientemente que para los EE.UU. la fracción de la precipitación total aportada por el percentil 10 superior de los casos de precipitación diaria, p. ej. lluvia fuerte, mues-

tra un significativo incremento estadístico a lo largo de este siglo. Esto se ha visto acompañado por un incremento medio de la precipitación e implica un cambio del perfil de la distribución de la precipitación de una manera tal que nos hace concebir un clima futuro más cálido. Esto tendrá importantes consecuencias en la configuración hidrológica. ¿Ocurre esto a un nivel global?

Horton y otros (presentado) demuestran que, para la temperatura diaria del centro de Inglaterra durante el año en su conjunto, la frecuencia de los días de frío extremo a lo largo del siglo pasado ha disminuido de manera sustancial a medida que el clima

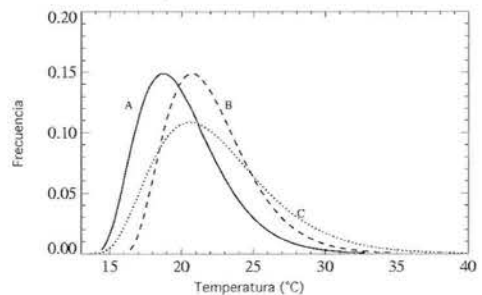


Figura 8 — La importancia de los valores extremos — distribución de la temperatura máxima diaria en el centro de Inglaterra en agosto. A: Distribución de la frecuencia de la temperatura máxima diaria en agosto en el centro de Inglaterra, (1961 – 1990); B: Influencia de un incremento de 2°C en la temperatura media máxima diaria, en relación al clima de 1961 – 1990; C: influencia de un posible cambio en la forma de la distribución de las temperaturas máximas en el centro de Inglaterra en un agosto más cálido. Para la explicación ver el texto.

Periodos de retorno (años) de las temperaturas máximas diarias en el centro de Inglaterra, 1961 - 1990 y 2° C más cálidas

(para explicación ver el texto)

Temperatura max. diaria en agosto	(A) Agosto normal (1961 - 1990)	(B) 2° añadidos a A	(C) Como B pero incrementada la variabilidad
Superado:			
26°C	0.8	0.3	0.2
28°C	2.1	0.8	0.3
30°C	6.0	2.1	0.6
32°C	17.6	6.0	1.3
34°C	54.1	17.6	2.7
36°C	171.5	54.1	5.8

viene siendo más cálido, mientras que el aumento de la frecuencia de días de calor extremo ha sido notablemente inferior. Jones y otros, (1999) demuestran que el número total de extremos diarios tiende a reducirse. Esto de nuevo supone un cambio en el perfil de la distribución de frecuencia. Existe una cierta evidencia de que este tipo de comportamiento –los extremos fríos descendiendo con más rapidez que lo que aumentan los extremos cálidos, al menos hasta ahora– puede haber ocurrido en todas partes, incluso sobre los océanos. Si esto es así, tendrá importantes consecuencias para nuestro entendimiento del carácter y del impacto del cambio climático. Pero necesitamos la confirmación de los datos históricos diarios y encuadrar la experiencia de los países individuales en el contexto global.

Pueden hacerse otras muchas preguntas referentes al cambio de los extremos sobre las que le gustaría investigar al IPCC. Veamos algunos ejemplos:

- ¿Qué cambios están ocurriendo en la duración y severidad de las sequías?
- ¿Qué cambios están ocurriendo en la frecuencia de las heladas o en la duración de las temporadas de crecimiento de los cultivos?
- ¿Está cambiando la frecuencia o la intensidad de los vientos extremos o los gradientes de presión?
- ¿Los extremos aparentes de temperatura –una función tanto de la humedad como de la temperatura– están siendo más frecuentes?

Esto podría aumentar la severidad o la frecuencia de las olas de calor y resultar crítico para la tolerancia humana en las ciudades tropicales. Los análisis preli-

minares (no publicados) de series de datos limitadas han mostrado que, en la mayoría de las estaciones analizadas, ha subido el percentil 90 de las temperaturas mínimas diarias, en algunas ocasiones de forma espectacular, indicando que aumentan las temperaturas nocturnas más cálidas, especialmente en los trópicos y en los subtrópicos. Se necesitan datos diarios mucho más numerosos y mejores para verificar estos nuevos e interesantes resultados antes de dar respuesta a una de las grandes cuestiones pendientes: ¿La combinación del cambio de los extremos resulta consistente con las expectativas de los modelos que predicen un calentamiento global?. Dada una serie de datos históricos y operativos a nivel mundial para responder a estas cuestiones, una serie de indicadores de extremos medioambientales

consistentemente analizados y acordados internacionalmente podría ser distribuida regularmente a todas las naciones por la OMM.

En 1998, un Grupo de Trabajo de la Comisión de Climatología de la OMM/Grupo de Trabajo del CLIVAR sobre Detección del Cambio Climático recomendó firmemente a la Comisión de Sistemas Básicos que una serie de datos básicos diarios y de metadatos asociados procedentes de las estaciones GSN deberían estar disponibles para el Tercer Informe de Evaluación del IPCC. En respuesta, la CSB hecho una declaración exhortando a los Miembros a facilitar los datos históricos diarios procedentes de los emplazamientos de las redes GUAN y RTS para el análisis de los indicadores del clima. Resultan necesarias actuaciones urgentes relativas a la disponibilidad e intercambio de datos si se quiere que el IPCC informe de manera efectiva sobre el cambio de los extremos climáticos a principios del año 2001, tal como se ha solicitado.

Reconstrucción de campos climáticos a partir de series de datos con lagunas

Los reanálisis utilizando modelos atmosféricos fijos es uno de los principales logros de los 90 (OMM, 1998). Ayudarán de manera muy efectiva a la investigación de la variabilidad climática interanual y contribuirán sustancialmente al entendimiento de los mecanismos del clima. No obstante, recientemente los reanálisis han demostrado que no resultan fiables para la estimación de las tendencias. Algunas de las razones están relacionadas con las desviaciones de los modelos, pero también son significativas las faltas de homogeneidad

de los datos de entrada, en especial de los datos procedentes de los satélites y de las radiosondas. Así pues, a parte de las mejoras de los modelos, resulta esencial que para disponer en el futuro de unos reanálisis precisos de las tendencias del clima se disponga de unos datos de entrada homogéneos de las últimas décadas y del futuro (p. ej. Rayner y otros, 1999).

Por último, vamos a tratar de como analizar mejor las configuraciones espaciales de los datos del clima con lagunas temporales y espaciales. La Figura 9(a) muestra la distribución de los datos de la TSM de enero de 1878. La Figura 9(b) muestra una reconstrucción completa de la TSM para dicho mes, con una configuración cálida clásica del gran episodio de El Niño de enero de 1878 en el Pacífico ecuatorial central y oriental, que apenas resulta evidente con los datos originales. Utilizamos un método matemático denominado “proyección del vector propio” (Rayner y otros, 1996), que también ha sido utilizada de otra manera por Smith y otros, (1996). Los vectores propios son sencillamente configuraciones espaciales ortogonales. Aquí utilizamos combinaciones lineales de configuraciones espaciales predefinidas de las anomalías de la TSM, incluyendo una que describe el calentamiento global. Una versión reciente del modelo climático atmosférico del Hadley Centre forzado con estas configuraciones reconstruidas de la TSM, incluyendo las correcciones para las desviaciones de la temperatura del mar descritas anteriormente, reprodujo correctamente el Índice de la Oscilación Austral observado entonces. Los extremos cálidos de las temperaturas globales de la superficie terrestre debidos a El Niño 1877/1878 también resultaron bien simulados. Esta reconstrucción de El Niño fue utilizada en un artículo reciente donde se analizaba el carácter de las variaciones de El Niño desde finales del siglo XIX (Kestin y otros, 1998).

Combinaciones lineales de configuraciones espaciales similares constituyen la base de nuevas técnicas para el análisis de datos climáticos históricos que permiten corregir mejor los efectos de las lagunas de datos y de los datos erróneos. Una de las técnicas se denomina “interpolación espacial óptima reducida” (Kaplan y otros, 1997; 1998) y la otra –incluso más moderna y perfeccionada (Shen y otros, 1998)– se denomina “promedio espacial óptimo reducido”. Ambas son versiones de la interpolación y promedios óptimos que utilizan las configuraciones espaciales ortogonales en lugar de las funciones de correlación más usuales. Esto resulta ser mucho más satisfactorio para las grandes lagunas de datos temporalmente

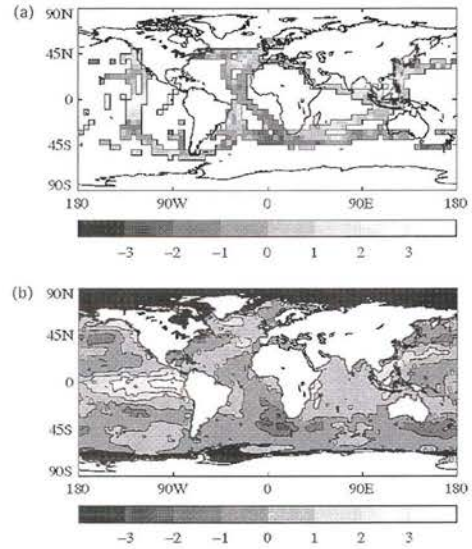


Figura 9 — Reconstrucción de lagunas de datos: (a) distribución espacial de los datos disponibles de la TSM de enero de 1878 ($^{\circ}\text{C}$ desviación de 1961–1990) durante uno de los mayores episodios de El Niño durante el siglo XIX; (b) reconstrucción de las TSM mundiales usando configuraciones ortogonales de variabilidad por medio del método de proyección de los vectores propios. Las áreas negras en el Ártico y cerca del Antártico son estimaciones de la dimensión del hielo en el mar.

variables. Una de estas configuraciones se asemeja mucho a la configuración de El Niño que acabamos de mostrar. La Figura 10 nos muestra el resultado de aplicar el promedio óptimo a los datos de la temperatura global del IPCC hasta 1998. La estimación de las incertidumbres en el promedio tiene en cuenta los errores aleatorios, las lagunas de datos y las incertidumbres adicionales debidas a las correcciones de las desviaciones de la temperatura del mar. Resulta necesario incluir otras desviaciones y se esperan algunos refinamientos de los detalles del método. Sin embargo, esto muestra el potencial del promedio óptimo para la cuantificación de las incertidumbres en numerosas series climáticas temporales. No obstante, hay que resaltar que los métodos de interpolación óptima resultan mucho mejores para la reconstrucción de escalas espaciales amplias (tales como el método más simple de proyección del vector propio). No existe ningún sustituto fiable para las pequeñas escalas espaciales de datos medidos, de manera que estos métodos de estimación tienen importantes limitaciones en la mayoría de las escalas nacionales.

Conclusiones

Nuestra primera conclusión es que la actual red de datos no fue diseñada de manera adecuada para

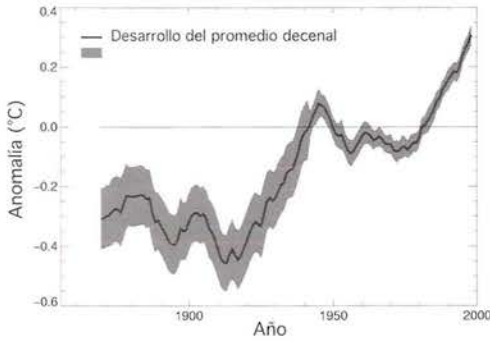


Figura 10 — Desarrollo del promedio de 10 años, y dos errores estándar, de la temperatura media mundial de la superficie terrestre (expresada como diferencias de la media de 1961 - 1990) para el periodo 1860 - 1998. Éstas resultan del promedio especial óptimo reducido de los datos de temperatura de la superficie terrestre y de la superficie del mar.

medir, detectar o caracterizar el cambio climático. Aun resultan necesarios tremendos esfuerzos para ajustar las desviaciones temporales de los datos, y los reanálisis son muy sensibles a las desviaciones de los datos. Las grandes lagunas temporales de datos en los registros históricos originan numerosas incertidumbres las cuales ahora ya podemos empezar a cuantificar, pero aun pueden hacer que no seamos capaces de controlar en absoluto algunos cambios climáticos regionales. Por desgracia, la degradación de las redes de observación está teniendo un efecto muy negativo en las series de datos climáticos clave. Los métodos de optimización de los análisis pueden mejorar nuestras estimaciones sobre el cambio climático y ayudarnos a cuantificar las incertidumbres, pero no existen sustitutos para unos datos homogéneos de densidad adecuada y de alta calidad. Así pues, tenemos que perfeccionar las redes existentes y preservar, digitalizar y realizar el control de calidad de una gran cantidad de datos y metadatos que sabemos que existen archivados en papel.

De manera muy importante, el acceso a los datos diarios resulta especialmente difícil y necesitan un control de calidad especialmente riguroso. Estos datos se necesitan urgentemente para controlar los cambios de los extremos climáticos por las razones apuntadas anteriormente. De manera que necesitamos acceder a los datos históricos y metadatos digitalizados, y un Sistema Mundial de Observación Climática que sea creado y mantenido con este propósito, con su calidad continuamente controlada, con el fin de ayudar a los gobiernos a dar respuestas políticas adecuadas al reto del calentamiento global.

Bibliografía

- BARTHOLEMEW, J.G. and A.J. HERBERTSON, 1899: Atlas of Meteorology. A. BUCHAN (Ed.), Bartholomew's Physical Atlas, Vol. III. Constable and Co., Westminster.
- FOLLAND, C. K., R. W. REYNOLDS, M. GORDON and D. E. PARKER, 1993: A study of six operational sea surface temperature analyses. *J. Climate*, 6, 96-113.
- FOLLAND, C. K. and D. E. PARKER, 1995: Correction of instrumental biases in historical sea surface temperature data. *Q. J. R. Met. Soc.*, 121, 319-367.
- HORTON, E. B., C. K. FOLLAND and D. E. PARKER: The incidence of extremes in worldwide and Central England temperatures. *Climatic Change* (submitted).
- IPCC, 1996: *Climatic Change 1995 The Science of Climate Change*. J. T. HOUGHTON, L. G. MEIRA FILHO, B. A. CALLENDER, N. HARRIS, A. KATTENBERG and K. MACKELL (Eds). Cambridge University Press, 572 pp.
- JONES, P. D., E. B. HORTON, C. K. FOLLAND, M. HULME, D. E. PARKER and T. A. BASNETT, 1999: The use of indices to identify changes in climatic extremes. *Climatic Change*, 42, 131-149.
- KAPLAN, A., M. A. CANE, Y. A. KUSNHIR and A. C. CLEMENT, 1998: Analyses of global sea surface temperature, 1856-1991. *J. Geophys. Res.*, 103, C9, 18567-18589.
- KAPLAN, A., Y. A. KUSNHIR, M. A. CANE and M. B. BLUMENTHAL, 1997: Reduced space optimal analysis for historical data sets: 136 years of Atlantic sea surface temperatures. *J. Geophys. Res.*, 102, C13, 27835-27860.
- KARL, T. R., V. E. DERR, D. R. EASTERLING, C. K. FOLLAND, D. J. HOFMANN, S. LEVITUS, N. NICHOLLS, D. E. PARKER and G. W. WITHEE, 1995: Critical issues for long-term climate monitoring. *Climatic Change*, 31, 185-221 and in: *Long-term Climatic Monitoring by the Global Climate Observing System*, T. KARL (Ed.), Kluwer, Dordrecht, 55-91.
- KARL, T.R. and R. W. KNIGHT, 1998: Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the USA. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 79, 231-241.
- KESTIN, T. S., D. J. KAROLY, J-I YANO and N. A. RAYNER, 1998: Time-frequency variability of ENSO and stochastic simulations. *J. Climate*, 11, 2258-2272.
- MANN, M. E., R. S. BRADLEY and M. K. HUGHES, 1998: Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature*, 392, 779-787.
- MANN, M. E., R. S. BRADLEY and M. K. HUGHES, 1999: Northern Hemisphere temperatures during the past millennium: inferences, uncertainties, and limitations. *Geophys. Res. Lett.*, 26, 759-762
- PARKER, D. E., 1994: Effects of changing exposures of thermometers at land stations. *Int. J. Climatol.*, 14, 102-113.
- PARKER, D. E., T. P. LEGG and C. K. FOLLAND, 1992: A new

- daily central England temperature series, 1772-1991. *Int. J. Climatol.*, 12, 317-342.
- PARKER, D. E., M. GORDON, D. P. N. CULLUM, D. M. H. SEXTON, C. K. FOLLAND and N. RAYNER, 1997: A new daily central England temperature data base and recent temperature trends. *Gheophys. Res. Lett.*, 24, 1499-1502
- PETERSON, T. C., H. DAAN and P. D. JONES, 1997: Initial selection of a GCOS surface network. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 78, 2145-2152.
- RAYNER, N. A., E. B. HORTON, D. E. PARKER, C. K. FOLLAND and R. B. HACKETT, 1996: *Version 2.2 of the global sea-ice and sea surface temperature data set, 1903-1994*. Hadley Centre Climate Research Technical Note 74. Available from the National Meteorological Library, Met. Office, Bracknell, Berkshire RG12 2SZ.
- RAYNER, N. A., D. E. PARKER, P. FRICH, E. B. HORTON, C. K. FOLLAND and L. V. ALEXANDER, 1999: SST and sea-ice fields for ERA40. *Proceedings of the 2nd International Conference on reanalysis, 23-27 August 1999*.
- REYNOLDS, R. W., C. K. FOLLAND and D. E. PARKER, 1989: Biases in satellite-derived sea-surface-temperature trends. *Nature*, 341, 728-732.
- REYNOLDS, R. W., 1993: Impact of Mount Pinatubo aerosols on satellite-derived sea surface temperatures. *J. Climate*, 6, 768-774.
- SHEN, S. S., T. M. SMITH, C. F. ROPELEWSKI and R. E. LIVEZEY, 1998: An optimal regional averaging method with error estimates and a test using tropical Pacific SST data. *J. Climate*, 11, 2340-2350.
- SMITH, T. M., R. W. REYNOLDS, R. E. LIVEZEY and D. C. STOKES, 1996: Reconstruction of historical sea surface temperatures using empirical orthogonal functions. *J. Climate*, 9, 1403-1420.
- UNEP, 1998: *Convention on Climate Change* UNEP Information Unit on Conventions, 30 pages.
- WMO, 1993: *The Climate Agenda. Intergovernmental Meeting on the World Climate Programme*, Geneva, 14-16 April 1993. The Meeting and Statement Report.
- WMO, 1998: *First WCRP International Conference on Reanalysis*, Silver Spring Maryland, October 1997. WCRP 104. WMO TD/876. 461 pages. + 19 pages.
- WMO, 1999: *GCOS Baseline Upper-air Network (GUAN)*. List and map on the GCOS home-page: <http://www.wmo.ch/>

Breitling Orbiter 3: Aspectos meteorológicos de la vuelta al mundo en globo



Por Pierre Eckert* and Luc Trullemans**

Durante los últimos años, el vuelo ininterrumpido de un globo alrededor del mundo ha levantado pasiones, lo que se ha dado en llamar "la última aventura aeronáutica del siglo". Las reglas para este vuelo han sido diseñadas por la Fédération aéronautique internationale (<http://www.fai.org/ballooning/rtw2-98.htm>). En particular, estipulan que hay que volver a cruzar por segunda vez el meridiano de partida y que hay que cubrir una distancia mínima de unos 28.000 km, para

Este artículo apareció por primera vez en el Boletín N° 84 del CEPPM (verano de 1999). Ha sido ligeramente modificado para el Boletín de la OMM.

evitar vuelos cortos cerca de los Polos.

En 1993 tuvo lugar una carrera trasatlántica de globos y la ganó un equipo compuesto por el piloto belga Wim Verstraten y por el piloto suizo Bertrand Piccard. El Real Instituto de Meteorología de Bélgica suministró la asistencia meteorológica para el vuelo bajo la dirección de uno de los autores de este artículo (Luc Trullemans).

El Instituto de Meteorología Suizo se ha ganado, con la ayuda del segundo autor de este artículo (Pierre Eckert), una sólida reputación en la tarea de establecer rutas para las regatas de veleros, principalmente tres carreras Whitbread alrededor del mundo. Fue, por lo tanto, bastante natural para Bertrand Piccard y Wim

* Instituto Suizo de Meteorología; e-mail: pek@sma.ch

** Real Instituto Meteorológico de Bélgica; e-mail: luc.trullemans@skynet.be